الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة وهران 1 أحمد بن بلة
Université Oran 1
كلية العلوم الدقيقة والتطبيقية
Faculté des sciences exactes et appliquées

قسم الإعلام الآلي
Computer Science Department

Mémoire de Fin d'Etudes

Pour l'Obtention du Diplôme de
Master en Informatique

Présenté par :

ABDOUNE Aicha Bouchra

Domaine : Mathématiques & Informatique
Spécialité : IIPE

Session juin 2024

THEME

DEVELOPPEMENT D'UN SYSTEME DE VISUALISATION CLOUD ET D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE POUR LA GESTION DE RESEAU DE DISTRIBUTION D'EAU POUR L'ALGERIENNE DES EAUX (ADE)

Encadré par **: M.BENYAMINA abou el hassane**
Co-encadré par : **M.BENHAOUA Med KAMAL**

Jury

Président : **DEBA A.**
Examinateur : **BELKHEIR F.**

Code Master : IIPE-2024-12

MASTER

Dédicaces

À mes chers parents, Abdoune Noureddine et Khaddar Karima, dont l'amour, le soutien indéfectible et les sacrifices ont rendu possible la réalisation de ce travail. Votre encouragement constant et vos conseils avisés ont été ma source d'inspiration tout au long de ce parcours académique. Merci pour tout ce que vous avez fait pour moi.

À Nawel Djennane, qui a apporté une lumière chaleureuse à chaque étape de ce voyage. Ta présence et tes paroles pleines de sagesse ont été comme un phare dans les moments les plus sombres. Merci pour ton soutien inébranlable et ton amour qui a enrichi mon chemin.

Hamani Amira Djoumana, mon amie et âme soeur, dont la présence douce et réconfortante a illuminé chaque jour de ma vie. Ta loyauté sans faille, ton écoute attentive et ton soutien inconditionnel ont été les piliers sur lesquels j'ai pu m'appuyer dans les moments de doute et de joie. Merci d'avoir été ma complice dans ce voyage, et d'avoir partagé chaque instant, qu'il soit grand ou petit

A mes chers frères Ahmed Nadir et ma soeur Nourhene Rihebe, je souhaite dédier cette réalisation. Votre soutien inconditionnel, vos encouragements constants et vos conseils précieux ont été des piliers essentiels tout au long de cette aventure académique. Votre présence aimante et votre soutien indéfectible ont été une source constante de réconfort et de force pour moi. Merci d'avoir été une famille exceptionnelle et d'avoir partagé chaque étape de ce voyage avec moi

Remerciements

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers l'équipe du laboratoire LAPECI pour leur soutien et leurs précieux conseils tout au long de ce projet de recherche.

Un merci spécial à mon encadrant M. Benyamina pour sa patience, son expertise et son encouragement constant.

Je souhaite également exprimer ma reconnaissance envers les membres du jury, Mme DEBA et Mme BELKHEIR pour leur temps, leur expertise et leur évaluation minutieuse de ce travail. Leurs commentaires constructifs ont contribué à enrichir ce mémoire et à améliorer sa qualité. Leur engagement envers l'avancement de la connaissance dans ce domaine est hautement apprécié

Résumé :

Ce mémoire explore l'utilisation de l'Internet des Objets (IoT) et des systèmes de visualisation de données en temps réel pour améliorer la gestion de l'eau par l'Algérienne des Eaux (ADE). Actuellement, l'ADE utilise des méthodes traditionnelles, impliquant des collectes d'échantillons sur le terrain et des analyses en laboratoire. Nous proposons une application prototype de visualisation en temps réel utilisant des capteurs IoT pour une surveillance continue. Bien que non testée en conditions réelles, cette solution pourrait améliorer l'efficacité opérationnelle de l'ADE. Le mémoire détaille les concepts de base, l'architecture des systèmes et l'implémentation de l'application, et propose des perspectives pour des recherches futures.

Mots clés : Internet des Objets (IoT), Visualisation des données en temps réel, Gestion de l'eau, Algérienne des Eaux (ADE), Capteurs IoT, Surveillance continue, Prototype d'application, Efficacité opérationnelle, Analyse de la qualité de l'eau, Technologies de l'information

Abstract :

This thesis explores the use of the Internet of Things (IoT) and real-time data visualization systems to improve water management by the Algérienne des Eaux (ADE). Currently, ADE uses traditional methods involving field sample collection and laboratory analysis. We propose a prototype real-time visualization application using IoT sensors for continuous monitoring. Although not yet tested in real-world conditions, this solution could enhance ADE's operational efficiency. The thesis outlines the basic concepts, system architecture, and application implementation, and offers perspectives for future research.

Keywords : Internet of Things (IoT), Real-time data visualization, Water management, Algérienne des Eaux (ADE), IoT sensors, Continuous monitoring, Prototype application, Operational efficiency, Water quality analysis, Information technology

Table des matières

Table des figures **1**

Introduction générale **3**

1 Contexte Théorique et les Travaux Connexes **5**
1.1 Introduction 5
1.2 Les Définitions 5
1.2.1 Internet des Objets (IoT) : Concepts et Évolutions 5
1.2.2 Systèmes Cyber-Physiques et leur Évolution 6
1.2.3 Réseaux de Capteurs sans Fil : Définitions et Avancées 7
1.3 Systèmes de Surveillance : Vue d'Ensemble et Composants 8
1.3.1 Composants Essentiels d'un Système de Surveillance 8
1.3.2 Objets Connectés : Fonctionnalités et Utilisations 8
1.4 Communication sans Fil dans l'IoT : Variétés et Technologies 8
1.4.1 Courte Portée (Jusqu'à 100 mètres) : 8
1.4.2 Moyenne Portée (Jusqu'à 10 kilomètres) : 9
1.4.3 Longue Portée (Plus de 10 kilomètres) : 9
1.5 Protocoles de Communication de l'IoT : Standards et Utilisations 9
1.5.1 Protocoles de données IoT 9
1.5.2 Protocoles de réseau IoT 9
1.6 Architecture Logicielle des Systèmes Cyber-Physiques : Concepts et Implémentations 10
1.6.1 Architecture Classique et ses Limites 10
1.6.2 Edge Computing 11
1.6.3 Fog Computing 12
1.6.4 Cloud computing 12
1.7 Des application IoT dans la gestion d'eau 13
1.7.1 Smart Water Networks (SWAN) 14
1.7.2 Waterscope 15
1.7.3 Projet "Smart Water" à Alger : 16
1.7.4 Systèmes d'Irrigation Intelligente dans les Zones Agricoles 16

1.8 Conclusion 17

2 Système de surveillance de distribution d'eau pour l'ADE 18
2.1 Introduction 18
2.2 l'état actuel de l'Algérienne des Eaux (ADE) 18
2.3 Solution proposée 19
2.4 Conception de l'architecture matérielle 19
2.4.1 Microcontrôleurs 19
2.4.2 Capteurs 20
2.5 NRF24l01 25
2.6 Conception logicielle 26
2.6.1 Raspberry Pi 26
2.6.2 MongoDB 27
2.6.3 Flask 30
2.6.4 Visualisation 31
2.7 Le Protocole HTTP 32
2.8 Principe de fonctionnement de système 33
2.8.1 Couche Edge 33
2.8.2 Couche Fog 34
2.8.3 Couche Cloud 34
2.9 Conclusion 34

3 Implémentation du Systeme 35
3.1 Introduction 35
3.2 Présentation de l'Implémentation 35
3.3 Développement des Fonctionnalités 36
3.3.1 Transmission HTTP 36
3.3.2 l'implémentation de l'application Web pour l'utilisateur 38
3.4 L'implémentation de l'application Web pour l'administrateur 46
3.4.1 Fonctionnalités de l'application Administrateur 46
3.4.2 Gestion des Utilisateurs 47
3.4.3 La gestion d'un Utilisateur 48
3.4.4 Ajout et Gestion des Locations 48
3.5 Conclusion 53

Bibliographie 55

Table des figures

1.1 - Vue conceptuelle sur CPS 5
1.2 - Architecture d'un réseau de capteurs sans fil 6
1.3 - Architecture des Systèmes Cyber-Physiques 9
1.4 - Une architecture Cloud basée combinant une couche Cloud, fog et edge . . . 10
1.5 - SWAN 13
1.6 - Waterscope 14
2.1 - Arduino Uno Rev3 19
2.3 - Capteur de turbidité 20
2.2 - Capteur HC-SR04 20
2.4 - Capteur de température DS18B20 21
2.5 - Le capteur TDS GT0429 22
2.6 - Capteur PH PH-4502C 22
2.7 - Capteur de débit 23
2.8 - Capteur de pression 24
2.9 - NRF24l01 25
2.10 - Raspberry Pi 4 26
2.11 - Le logo de mongoDB 27
2.12 - Diagramme de classe UML de la structure de la base de données 28
2.13 - Le logo de Flask 29
2.14 - Diagramme de cas d'utilisation de l'application Web 31
2.15 - Architecture globale du système 32
3.1 - Diagramme de Séquence : Gestion des Alertes 36
3.2 - Affichage d'alerte 37
3.3 - Authentification pour l'utilisateur 38
3.4 - La page d'acueil pour l'utilisateur 39
3.5 - Sélection du capteur 40
3.6 - La présentation graphique pour les données de capteur 9 41
3.7 - L'affichage d'historique du capteur 9 41
3.8 - L'affichage de l'electrovanne 43
3.9 - Menu pour utilisateur 43
3.10 - L'historique des alertes 44

3.11 - Affichage des capteur 45
3.12 - Affichage des emplacements 45
3.13 - La page d'accueil pour l'administrateur 47
3.14 - L'ajout d'un nouvel utilisateur 48
3.15 - Gestion d'utilisateurs 48
3.16 - Ajout d'une Nouvelle Location 49
3.17 - Gestion des Locations 50
3.18 - L'ajout d'un capteur 51
3.19 - Add Kit 51
3.20 - L'ajout d'un nouveau kit dans une zone industrielle 52
3.21 - L'ajout d'un nouveau kit dans un bâtiment 53

Introduction générale

L'Internet des Objets (IoT) révolutionne notre manière d'interagir avec la technologie et l'information en permettant l'interconnexion de dispositifs physiques variés, des appareils domestiques intelligents aux infrastructures industrielles complexes. Cette interconnexion crée un réseau dynamique où les objets échangent des données en temps réel, optimisant ainsi les processus et enrichissant les expériences utilisateur.

Les systèmes de visualisation de données jouent un rôle crucial dans l'exploitation des données générées par les dispositifs IoT. Ils permettent de transformer les données brutes en informations exploitables, facilitant ainsi la prise de décision rapide et éclairée. Ces systèmes intègrent divers outils et technologies pour collecter, analyser et présenter les données de manière visuelle et compréhensible.

Actuellement, l'Algérienne des Eaux (ADE) utilise des méthodes traditionnelles pour analyser la qualité de l'eau. Ces méthodes impliquent l'envoi d'agents sur le terrain pour collecter des échantillons d'eau, qui sont ensuite analysés dans des laboratoires. Bien que ces méthodes soient efficaces, elles présentent des limitations en termes de rapidité et de capacité à traiter de grands volumes de données en temps réel.

Pour moderniser les méthodes de gestion et d'analyse de l'ADE, nous proposons le développement d'une application de visualisation en temps réel. Cette application permettra de surveiller et d'analyser les données provenant des différents capteurs installés à travers les infrastructures de distribution d'eau. En fournissant des informations pertinentes et exploitables en temps réel, elle vise à améliorer l'efficacité opérationnelle et à faciliter une prise de décision rapide et éclairée.

Ce mémoire est structuré pour guider le lecteur à travers une exploration complète et logique du sujet. Le premier chapitre présente les concepts fondamentaux de l'IoT et des systèmes de visualisation de données, ainsi qu'une revue des recherches récentes et des développements actuels. Le deuxième chapitre détaille l'architecture et les composants des systèmes de l'ADE, incluant les capteurs, les réseaux de communication et les plateformes logicielles. Le troisième chapitre décrit le processus de mise en œuvre de l'application de visualisation et évalue ses performances à travers divers scénarios de test. Enfin, la conclusion synthétise les résultats obtenus et propose des pistes pour les recherches futures dans le domaine de la gestion des données en temps réel et de l'IoT.

L'IoT et la visualisation des données en temps réel représentent des avancées technolo-

giques majeures qui transforment notre quotidien et nos industries. Ce mémoire se veut une contribution à la compréhension et à l'amélioration de ces technologies, en proposant des solutions concrètes aux défis actuels rencontrés par l'ADE et en explorant les opportunités futures.

Chapitre 1

Contexte Théorique et les Travaux Connexes

1.1 Introduction

L'Internet des Objets (IoT) et les Systèmes Cyber-Physiques (CPS) représentent deux des avancées technologiques les plus révolutionnaires de notre époque. L'IoT, défini par l'interconnexion de terminaux physiques via des capteurs, des logiciels et d'autres technologies, permet une communication et un échange de données inédits entre ces terminaux. Cela englobe une gamme d'applications allant des appareils domestiques intelligents aux systèmes industriels complexes. Parallèlement, les CPS combinent des entités physiques et des capacités de calcul intensives, intégrées avec des systèmes de communication avancés pour créer des systèmes autonomes capables de répondre et d'interagir avec le monde physique de manière intelligente. Ces innovations ont non seulement transformé la manière dont nous interagissons avec notre environnement mais ont aussi amélioré l'efficacité et la sécurité dans divers secteurs tels que la santé, l'industrie et la gestion des infrastructures.

1.2 Les Définitions

1.2.1 Internet des Objets (IoT) : Concepts et Évolutions

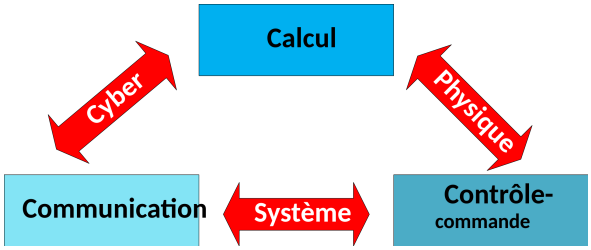
L'Internet des objets (IoT) est un réseau de dispositifs physiques, appelés "objets", équipés de capteurs, de logiciels et d'autres technologies. Ces objets sont conçus pour se connecter à d'autres dispositifs et systèmes via Internet, leur permettant ainsi d'échanger des données. Ces dispositifs vont des simples appareils domestiques aux outils industriels complexes.[1]

L'évolution de l'Internet des Objets (IoT) est un parcours transformateur allant de dispositifs connectés simples à Systèmes Cyber-Physiques (CPS) qui révolutionnent les industries et améliorent les vies quotidiennes. Elle a commencé par la connexion d'objets du quotidien

à Internet, permettant le contrôle et la surveillance à distance, conduisant à la naissance des maisons intelligentes. Au fil du temps, l'IoT s'est étendu aux applications industrielles, où les capteurs et la connectivité dans les machines prédisaient les besoins en matière d'entretien, améliorant l'efficacité et réduisant les coûts. Les avancées technologiques ont accéléré la croissance de l'IoT, permettant l'analyse de données en temps réel. Ceci a fourni aux entreprises de nouvelles façons de surveiller les opérations, d'améliorer l'efficacité et de créer un monde plus connecté.

1.2.2 Systèmes Cyber-Physiques et leur Évolution

Les Cyber-Physical Systems (CPS) sont des systèmes constitués d'entités collaboratives équipées de capacités de calcul. Ils sont fortement connectés à leur environnement physique et aux événements qui s'y déroulent. Ces systèmes fournissent et utilisent simultanément les services pour la mise à disposition et le traitement des données disponibles sur le réseau.[2]



Vue conceptuelle sur CPS [3]

Voici une explication de chacune des composantes clés d'un système cyber-physique telles qu'illustrées dans l'image :

- Calcul : Cela fait référence aux capacités de traitement des données, d'exécution d'algorithmes et de prise de décisions en temps réel par le système informatique intégré.
- Physique : Il s'agit de la partie matérielle, physique du système, comme les capteurs, les actionneurs, les machines et l'environnement physique dans lequel le système opère.
- Cyber : Cela représente les composants informatiques, logiciels et de communication qui permettent le contrôle, la surveillance et la prise de décisions dans le système.
- Communication : Il s'agit des moyens de communication et d'échange de données entre les différentes parties du système, que ce soit avec le monde physique (capteurs, actionneurs) ou entre les composants informatiques.
- Commande : Cela fait référence aux algorithmes, boucles de contrôle et processus de prise de décision qui régissent le comportement et les actions du système en fonction des données reçues et des objectifs.

– Système d'information : C'est la plateforme d'intégration sous-jacente qui relie tous les autres éléments, gérant le flux d'informations, le stockage des données, les interfaces, etc.

Depuis 2006, le concept des Cyber-Physical Systems (CPS) a pris racine, soulignant la nécessité d'une interaction étroite entre le monde physique et informatique. Ce paradigme de recherche a été influencé par le contrôle, la communication et l'informatique. Les CPS sont conçus pour révolutionner la fabrication et l'ensemble du cycle de vie des produits ou des processus. Ils impliquent des équipements physiques capables d'échanger des informations de manière autonome et de prendre des actions avec un contrôle autonome.[3].

1.2.3 Réseaux de Capteurs sans Fil : Définitions et Avancées

Un réseau de capteurs sans fil est un ensemble ad hoc de nombreux nœuds, composés de micro-capteurs qui collectent et transmettent des données de manière autonome. La disposition de ces nœuds n'est pas nécessairement prédéterminée ; ils peuvent être répartis de manière aléatoire dans une zone géographique spécifique, appelée "champ de captage", qui correspond au terrain sur lequel le phénomène à capter se produit. [4].

Les réseaux de capteurs sans fil sont utilisés dans divers domaines, tels que la surveillance de l'environnement, la santé, l'industrie, l'agriculture, la domotique et l'Internet des objets. Ils permettent de collecter et de transmettre des données de manière décentralisée, ce qui facilite la prise de décision et l'action dans ces domaines.

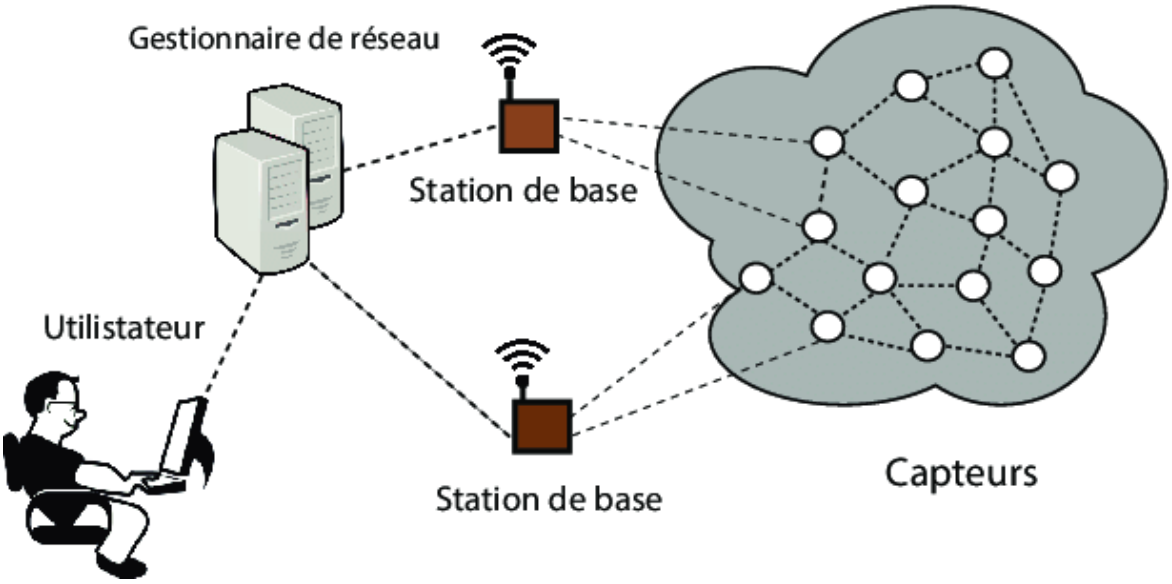


FIGURE 1.1 – *Architecture d'un réseau de capteurs sans fil [5]*

1.3 Systèmes de Surveillance : Vue d'Ensemble et Composants

Un système de surveillance est une collection de dispositifs électroniques conçus pour observer et enregistrer des activités ou des événements. Il trouve des applications diverses, telles que la sécurité, la surveillance de l'environnement et la gestion des processus industriels.[6]

1.3.1 Composants Essentiels d'un Système de Surveillance

Les systèmes de surveillance se composent de plusieurs éléments essentiels, notamment des capteurs, des caméras, des enregistreurs, des logiciels et des réseaux. Les capteurs détectent les changements dans leur environnement et les transforment en signaux électriques. Les caméras capturent des images ou des vidéos de la zone surveillée. Les enregistreurs stockent les données collectées par les capteurs et les caméras. Les logiciels permettent la gestion et le contrôle du système de surveillance, la visualisation des données, l'activation d'alertes et la création de rapports. Les réseaux facilitent la connexion entre les différents composants du système et la transmission des données vers un emplacement central.[6]

1.3.2 Objets Connectés : Fonctionnalités et Utilisations

C'est un objet capable de se connecter à divers réseaux de communication tels que l'Internet des Objets (IDO) via Wi-Fi, Bluetooth, ou réseau internet mobile, y compris la 5G. Il peut recevoir, stocker, traiter et transmettre des données, ainsi que recevoir et exécuter des instructions pour son fonctionnement. Ces objets peuvent être autonomes ou interagir avec un smartphone ou une tablette pour le contrôle ou pour servir de relais dans l'échange de données. Les données collectées peuvent être consultées soit sur l'appareil mobile, soit via un service Internet.[7]

1.4 Communication sans Fil dans l'IoT : Variétés et Technologies

Les technologies de communication sans fil pour l'IoT peuvent être classées en fonction de leur portée :

1.4.1 Courte Portée (Jusqu'à 100 mètres) :

- Standards : NRF24L01, Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi (basse puissance)
- Protocoles : IEEE 802.15.1, IEEE 802.15.4, IEEE 802.11b/g/n
- Avantages : Faible consommation d'énergie, faible coût, large adoption

- Inconvénients : Portée limitée, bande passante modérée

1.4.2 Moyenne Portée (Jusqu'à 10 kilomètres) :

- Solutions : Sigfox, LoRa, Wi-Fi HaLow
- Avantages : Portée étendue, faible consommation d'énergie, connectivité massive
- Inconvénients : Bande passante modérée, coût plus élevé que la courte portée

1.4.3 Longue Portée (Plus de 10 kilomètres) :

- Technologies : Réseaux cellulaires (3G, 4G, 5G), Satellites
- Avantages : Portée très longue, connectivité globale
- Inconvénients : Consommation d'énergie élevée, bande passante variable, coût élevé

1.5 Protocoles de Communication de l'IoT : Standards et Utilisations

1.5.1 Protocoles de données IoT

Les protocoles de données IoT ont été créés pour connecter des dispositifs IoT à faible consommation. Sans connexion internet, ils parviennent à établir une communication de bout en bout avec le matériel. Cependant, la connectivité dans les protocoles de données IoT peut se faire via un réseau câblé ou cellulaire. MQTT, CoAP, AMQP, XMPP, DDS et HTTP comptent parmi les meilleurs protocoles de données IoT.[8]

1.5.2 Protocoles de réseau IoT

Les protocoles de réseau IoT sont conçus pour connecter des appareils de puissance moyenne à élevée au réseau, facilitant ainsi la communication de données à l'intérieur du réseau. Voici quelques-uns des protocoles de réseau IoT les plus courants :[8]

- Surveillance des biens et des personnes : Protège les biens contre le vol et les personnes contre les dangers.
- Gestion des urgences : Permet une réponse plus rapide et plus efficace aux situations d'urgence.
- Prévention des crimes : Réduire la criminalité et améliorer la sécurité publique.

En plus des domaines mentionnés, l'Internet des Objets (IoT) a le potentiel de transformer de nombreux autres secteurs d'activité. Il est crucial de souligner que le succès de l'IoT repose sur la capacité des entreprises à déployer des solutions efficaces et sécurisées.

1.6 Architecture Logicielle des Systèmes Cyber-Physiques : Concepts et Implémentations

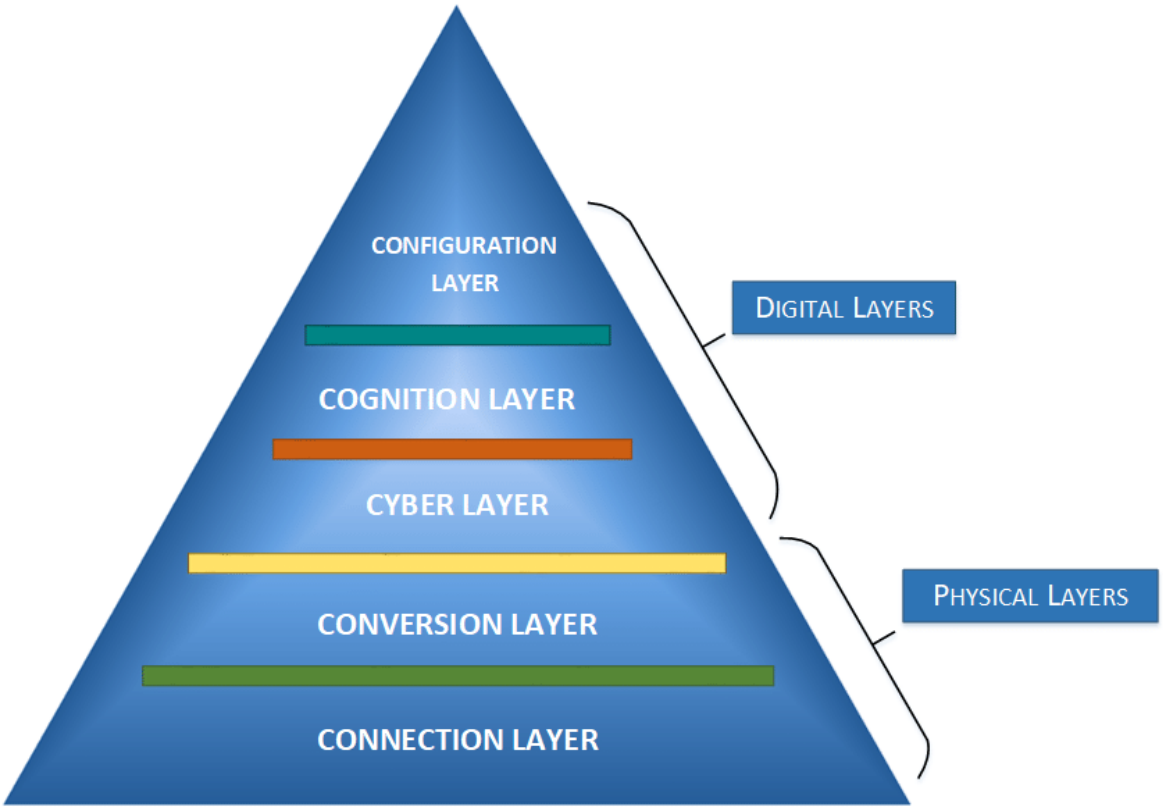


FIGURE 1.2 – *Architecture des Systèmes Cyber-Physiques [9]*

1.6.1 Architecture Classique et ses Limites

L'architecture typique des systèmes cyber-physiques (CPS) repose souvent sur une approche centralisée, où les éléments matériels et logiciels sont reliés à un contrôleur central. Cette méthode offre divers avantages, tels que la simplicité de conception et la facilité de gestion. Toutefois, elle comporte également plusieurs inconvénients, dont :

- **Scalabilité :** L'architecture centralisée peut devenir peu évolutive à mesure que le système grandit et se complexifie.
- **Performance :** Le contrôleur central peut devenir un goulot d'étranglement, ce qui peut limiter les performances du système.
- **Fiabilité :** Un défaillance du contrôleur central peut entraîner une défaillance de l'ensemble du système.

– **Sûreté et sécurité :** L'architecture centralisée peut être plus vulnérable aux attaques, car le contrôleur central constitue une cible privilégiée.[10]

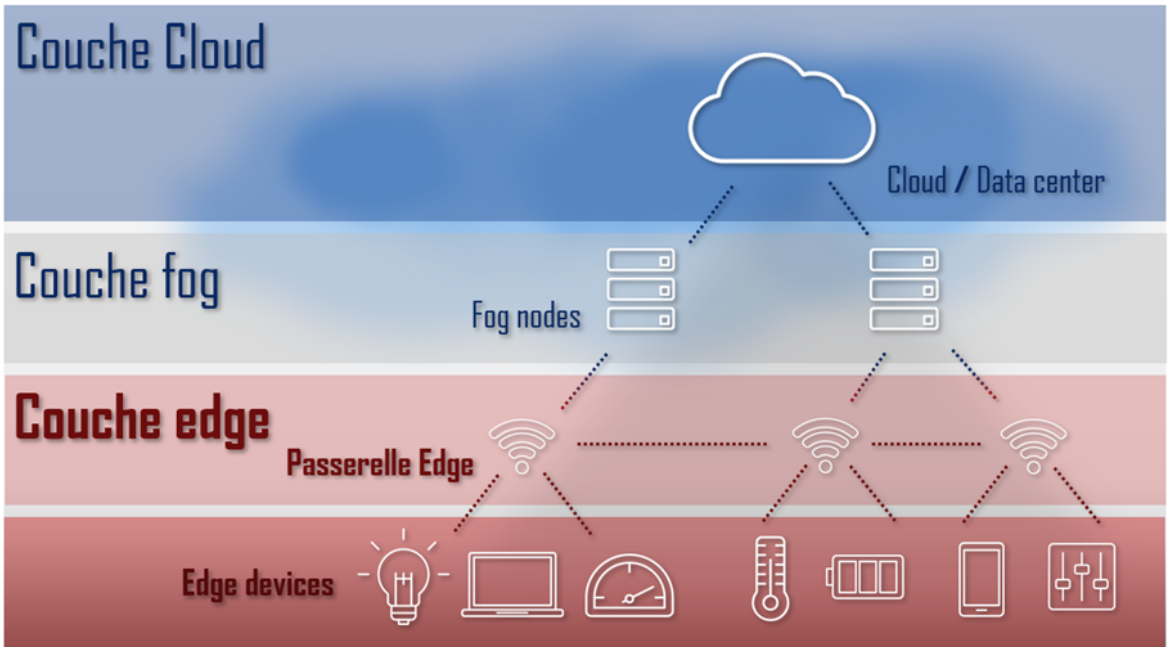


FIGURE 1.3 – *Une architecture Cloud basée combinant une couche Cloud, fog et edge [11]*

1.6.2 Edge Computing

L'edge computing est une stratégie décentralisée visant à rapprocher le traitement des données et la prise de décision des capteurs et des actionneurs. Cette approche réduit la latence, améliore les performances et renforce la fiabilité et la sécurité des systèmes CPS. Les principes clés de l'edge computing comprennent notamment :

– **Distribution :** Le traitement des données et la prise de décision sont distribués sur plusieurs nœuds du réseau.
– **Autonomie :** Les nœuds périphériques sont capables de fonctionner de manière autonome, sans avoir besoin d'une communication constante avec un contrôleur central.
– **Collaboration :** Les nœuds périphériques peuvent collaborer entre eux pour partager des données et prendre des décisions.[12]

Les rôles de l'edge computing dans les CPS incluent :

– **Acquisition et prétraitement des données :** Les nœuds périphériques peuvent acquérir des données à partir de capteurs et les prétraiter avant de les envoyer à des niveaux supérieurs du système.
– **Analyse et décision locales :** Les nœuds périphériques peuvent analyser les données et prendre des décisions locales en temps réel.

– **Agrégation et transfert de données :** Les nœuds périphériques peuvent agréger des données et les transférer vers des niveaux supérieurs du système.[12]

1.6.3 Fog Computing

Le fog computing étend l'approche de l'edge computing en élargissant le traitement et le stockage des données au-delà des nœuds périphériques vers un réseau distribué de périphériques et de serveurs situés "proches du bord". Cette extension permet de fournir des services plus avancés et de prendre en charge des applications plus exigeantes en ressources.

Les définitions clés du fog computing incluent :

– **Fog node :** Un nœud de brouillard est un dispositif capable d'exécuter des applications et de fournir des services de calcul, de stockage et de réseautage.

– **Fog network :** Un réseau de brouillard est un réseau distribué de nœuds de brouillard.

Les applications du fog computing dans les CPS incluent :

– **Industrie 4.0 :** Le fog computing peut être utilisé pour prendre en charge des applications industrielles du type Industrie 4.0, telles que la maintenance prédictive et le contrôle de la qualité.

– **Villes intelligentes :** Le fog computing peut être utilisé pour prendre en charge des applications de villes intelligentes, telles que la gestion du trafic et l'éclairage intelligent.

– **Soins de santé connectés :** Le fog computing peut être utilisé pour prendre en charge des applications de soins de santé connectés, telles que la surveillance des patients à distance et la télémédecine.[13]

1.6.4 Cloud computing

Le cloud computing est un modèle de prestation de services où les ressources informatiques telles que le stockage, le calcul et les réseaux sont fournies sur demande via Internet. Il peut compléter l'edge computing et le fog computing en proposant des ressources et des services à grande échelle qui ne sont pas toujours pratiques à déployer localement. Les avantages du cloud computing pour les systèmes cyber-physiques comprennent notamment :

– **Scalabilité :** Le cloud computing peut fournir une évolutivité élastique pour répondre aux besoins changeants des systèmes CPS.

– **Flexibilité :** Le cloud computing peut fournir une variété de services qui peuvent être adaptés aux besoins spécifiques des applications CPS.

– **Coût :**Le cloud computing peut offrir un modèle de paiement à l'utilisation qui peut réduire les coûts d'infrastructure.

Cependant, le cloud computing présente également certains défis pour les CPS, notamment :

- **Latence :** La latence entre les nœuds périphériques et le cloud peut être élevée, ce qui peut limiter les performances des applications en temps réel.
- **Fiabilité :** La dépendance vis-à-vis du cloud pour des services critiques peut introduire des points de défaillance uniques. En cas de panne du cloud, cela peut affecter la disponibilité et la fiabilité des systèmes CPS.
- **Sécurité et confidentialité :** Les données collectées et traitées par les CPS peuvent être sensibles. Les organisations doivent mettre en œuvre des mesures de sécurité appropriées pour protéger les données contre les intrusions, les fuites de données et l'utilisation non autorisée.
- **Conformité réglementaire :** Les CPS peuvent être soumis à des réglementations spécifiques concernant la collecte, le stockage et l'utilisation des données. L'utilisation du cloud computing peut compliquer la conformité à ces réglementations, car les organisations peuvent perdre le contrôle de l'emplacement de leurs données.[14]

1.7 Des application IoT dans la gestion d'eau

La gestion de l'eau est devenue une préoccupation majeure à l'échelle mondiale en raison de la pénurie d'eau, des effets du changement climatique et de la croissance démographique. Les technologies de l'Internet des Objets (IoT) offrent des solutions innovantes pour améliorer l'efficacité et la durabilité de la gestion de l'eau. Plusieurs systèmes existants illustrent bien ces avancées technologiques :

1.7.1 Smart Water Networks (SWAN)

FIGURE 1.4 – *SWAN [15]*

SWAN est une alliance industrielle dédiée à l'amélioration des réseaux de distribution d'eau grâce à l'utilisation de technologies intelligentes. Il s'agit d'une alliance regroupant des acteurs clés du secteur de l'eau, tels que des compagnies des eaux, des fournisseurs de technologies, des consultants et des organismes de recherche. L'objectif principal de SWAN est de favoriser le développement et le déploiement de solutions numériques innovantes permettant d'améliorer l'efficacité, la durabilité et la résilience des systèmes de distribution d'eau. Ces solutions reposent sur l'intégration de plusieurs éléments :

- **Capteurs IoT :** Installés à des points stratégiques du réseau d'eau, ces capteurs collectent des données en temps réel sur des paramètres critiques tels que la pression, le débit, le niveau d'eau et la qualité de l'eau.
- **Réseaux de communication :** Les données collectées par les capteurs sont transmises via des réseaux de communication sans fil à faible consommation d'énergie (LPWAN) tels que LoRaWAN ou NB-IoT.
- **Plateformes de gestion des données :** Ces plateformes collectent, stockent et analysent les données issues des capteurs. Elles permettent aux gestionnaires de réseau de visualiser l'état du réseau en temps réel, d'identifier les anomalies et de prendre des décisions éclairées.
- Systèmes de contrôle et d'automatisation :**Systèmes de contrôle et d'automatisation :** En fonction des analyses effectuées sur les données, des systèmes automatisés

peuvent être mis en place pour optimiser la distribution de l'eau, par exemple en ajustant la pression ou en activant des vannes intelligentes.[15]

1.7.2 Waterscope

FIGURE 1.5 – *Waterscope [16]*

Waterscope est une plateforme complète de gestion de l'eau qui combine du matériel, des logiciels et l'analyse de données pour fournir aux services publics d'eau une solution holistique pour optimiser leurs apopérations. Elle englobe diverses technologies et fonctionnalités pour répondre aux défis multiformes de la gestion de l'eau. Waterscope intègre ces éléments :

- **Capteurs IoT :** Installés à des points stratégiques du réseau d'eau, ces capteurs collectent des données en temps réel sur des paramètres critiques tels que la pression, le débit, le niveau d'eau et la qualité de l'eau.
- **Réseaux de communication :** Les données collectées par les capteurs sont transmises via des réseaux de communication sans fil basse consommation (LPWAN) tels que LoRaWAN, NB-IoT ou Sigfox. Ces réseaux permettent une communication bidirectionnelle, permettant aux systèmes de contrôle d'envoyer des instructions aux capteurs et de recevoir des mises à jour en temps réel.
- **Plateformes de gestion de données :** Ces plateformes collectent, stockent et analysent les données des capteurs. Elles permettent aux gestionnaires de réseau de visualiser l'état du réseau en temps réel, d'identifier les anomalies et de prendre des décisions éclairées.
- **Systèmes de contrôle et d'automatisation :** Sur la base des analyses effectuées sur les données, des systèmes automatisés peuvent être mis en place pour optimiser la distribution de l'eau, par exemple en ajustant la pression ou en activant des vannes intelligentes.[17]

En Algérie, la gestion de l'eau est cruciale en raison des défis posés par la rareté de l'eau et l'augmentation des besoins de la population. Divers projets et systèmes IoT ont été mis

en place ou sont en développement pour améliorer l'efficacité et la durabilité de la gestion de l'eau.

Voici un aperçu des systèmes IoT existants en Algérie :

1.7.3 Projet "Smart Water" à Alger :

Ce projet pilote vise à moderniser le réseau de distribution d'eau de la capitale en intégrant des technologies IoT. Il comprend l'installation de capteurs pour surveiller la qualité de l'eau, détecter les fuites et gérer la pression. Les données collectées sont analysées en temps réel pour optimiser la distribution et réduire les pertes. Le projet "Smart Water" utilise un ensemble de technologies de pointe pour atteindre ses objectifs, notamment :

- **Internet des objets (IoT) :** Des capteurs IoT seront installés à des points stratégiques du réseau de distribution d'eau pour collecter des données en temps réel sur la pression, le débit, le niveau d'eau et la qualité de l'eau.
- **Réseaux de communication sans fil :** Les données collectées par les capteurs IoT seront transmises via des réseaux de communication sans fil basse consommation (LPWAN) tels que LoRaWAN, NB-IoT ou Sigfox.
- **Plateformes de gestion de données :** Des plateformes de gestion de données seront utilisées pour collecter, stocker et analyser les données des capteurs IoT. Ces plateformes permettront aux gestionnaires de réseau de visualiser l'état du réseau en temps réel, d'identifier les anomalies et de prendre des décisions éclairées.
- **Systèmes de contrôle et d'automatisation :** Des systèmes de contrôle et d'automatisation seront utilisés pour optimiser la distribution d'eau en fonction des données collectées par les capteurs IoT. Cela permettra de réduire les pertes d'eau, d'améliorer la qualité de l'eau et de réduire la consommation d'énergie.[18]

1.7.4 Systèmes d'Irrigation Intelligente dans les Zones Agricoles

Les systèmes d'irrigation intelligents dans les zones agricoles utilisent des technologies de pointe pour automatiser et optimiser l'irrigation des cultures. Ces systèmes permettent de réduire la consommation d'eau, d'améliorer le rendement des cultures et de minimiser l'impact environnemental de l'agriculture. Les systèmes d'irrigation intelligente collectent des données en temps réel sur les besoins en eau des cultures, les conditions météorologiques et l'état du sol. Ces données sont ensuite analysées par des algorithmes intelligents qui déterminent la quantité d'eau nécessaire et le moment optimal pour l'irrigation. Ces systèmes comprennent généralement les composants suivants :

- **Capteurs :** Des capteurs sont installés dans le sol et dans l'air pour mesurer l'humidité du sol, la température, l'évapotranspiration et d'autres paramètres pertinents.

- **Stations de communication :** Les stations de communication collectent les données des capteurs et les transmettent à un système de contrôle central.
- **Système de contrôle central :** Le système de contrôle central analyse les données des capteurs et envoie des instructions aux vannes d'irrigation.
- **Vannes d'irrigation :** Les vannes d'irrigation contrôlent le débit d'eau vers les cultures.[19]

1.8 Conclusion

En conclusion, l'Internet des Objets et les Systèmes Cyber-Physiques représentent des avancées majeures dans le domaine de la technologie, offrant des solutions de connectivité et d'autonomie qui améliorent l'efficacité et la sécurité dans de nombreux domaines. L'IoT, avec ses capacités de connexion et de surveillance, et les CPS, avec leur intégration intelligente de systèmes physiques et informatiques, promettent de continuer à transformer notre monde de manière significative. Leur succès futur dépendra de l'innovation continue et de la mise en œuvre de solutions sûres et efficaces pour répondre aux besoins d'un monde de plus en plus interconnecté.

Chapitre 2

Système de surveillance de distribution d'eau pour l'ADE

2.1 Introduction

Dans un monde où les avancées technologiques ne cessent de se multiplier, il devient impératif pour les entreprises de s'adapter à ces évolutions pour rester compétitives. L'Algérienne des Eaux (ADE), en tant qu'acteur majeur dans la gestion de l'eau en Algérie, n'échappe pas à cette nécessité d'innovation. Actuellement, l'ADE de Mascara utilise des méthodes de surveillance manuelles pour contrôler la qualité de l'eau, ce qui présente des limites en termes d'efficacité et de précision.

Face à ces défis, l'élaboration d'un système de surveillance de distribution d'eau moderne et automatisé devient une priorité. Cette solution pourrait transformer radicalement la façon dont l'ADE gère ses ressources hydriques, en permettant une surveillance en temps réel et une analyse approfondie des paramètres clés de l'eau.

2.2 l'état actuel de l'Algérienne des Eaux (ADE)

L'Algérienne des Eaux (ADE), en tant qu'entreprise nationale chargée de la gestion de l'eau en Algérie, fait face à des défis importants dans la surveillance de ses installations et de ses réseaux. Actuellement, l'ADE de Mascara utilise une approche manuelle pour surveiller les paramètres clés tels que le pH, la conductivité et d'autres indicateurs de qualité de l'eau. Les employés prélevant des échantillons au laboratoire analysent ces données de manière traditionnelle. Cependant, cette méthode présente des limitations en termes d'efficacité, de précision et de rapidité. Pour améliorer la surveillance, l'entreprise pourrait envisager des solutions automatisées, telles qu'une application de télésurveillance, pour collecter et analyser les données en temps réel. Cette transition vers des méthodes plus modernes permettrait d'optimiser les opérations et de réduire les erreurs humaines.

2.3 Solution proposée

La solution proposée est une application de visualisation de données en temps réel qui a été développée pour améliorer la gestion de l'eau dans l'entreprise ADE. Ce projet vise a démontré les avantages significatifs qu'une solution cloud peut apporter à la gestion des ressources hydriques, en se concentrant sur la conception et la mise en œuvre d'un prototype fonctionnel simulant les conditions réelles de la gestion de l'eau au sein de l'entreprise. Il est important de noter que la collecte des données, incluant les capteurs, Arduino, et toute l'infrastructure matérielle, est déjà développée et ne fait pas partie de cette solution proposée. Le prototype développé permet de collecter et afficher des données hydriques en temps réel, offrant ainsi une visibilité instantanée sur les paramètres critiques tels que les niveaux d'eau, la turbidité, le pH, la conductivité, la pression, la température et le débit de l'eau. Grâce à une interface utilisateur interactive, les gestionnaires peuvent facilement surveiller et analyser ces données, facilitant ainsi la prise de décisions informées et rapides. Cette solution pourrait améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau, réduire les coûts et minimiser l'impact environnemental. Il est important de souligner que ce projet reste au stade de prototype et n'a pas encore été testé ni déployé dans un environnement réel avec l'entreprise en question.

2.4 Conception de l'architecture matérielle

L'architecture matérielle de l'application repose sur plusieurs kits de capteurs connectés à des cartes Arduino. Le premier kit, situé dans le réservoir principal, comprend cinq capteurs : un capteur à ultrasons pour mesurer le volume, un capteur de turbidité, un capteur de température, un capteur TDS pour la conductivité et un capteur de pH. Le deuxième kit, placé en sortie du réservoir principal, inclut un capteur de pression et un débitmètre. Le troisième kit, similaire au deuxième, est installé à l'entrée du bloc 1. Le quatrième kit est positionné à l'entrée du bloc 2 et comprend un débitmètre, un capteur de pression et une électro-vanne. Chaque kit est relié à une cartes Arduino équipée de modules NRF, qui envoient les données collectées à une Raspberry Pi. La Raspberry Pi transfère ensuite ces données à une base de données sur un PC, qui joue le rôle du cloud pour ce prototype. Le protocole de communication utilisé est HTTP. En raison du caractère prototypal du projet, l'utilisation d'un véritable service cloud n'est pas envisagée pour des raisons de coût.

2.4.1 Microcontrôleurs

Dans cette architecture, les microcontrôleurs utilisés sont les Arduino Uno. L'Arduino Uno est une carte microcontrôleur open-source basée sur le microcontrôleur ATmega328P et développée par Arduino.cc. L'Arduino Uno dispose de 14 broches d'entrée/sortie numériques (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM), de 6 entrées analogiques, d'un résonateur céramique de 16 MHz, d'une connexion USB, d'une prise d'alimentation, d'un

connecteur ICSP et d'un bouton de réinitialisation. Elle peut être alimentée via la connexion USB ou une alimentation externe.[20]

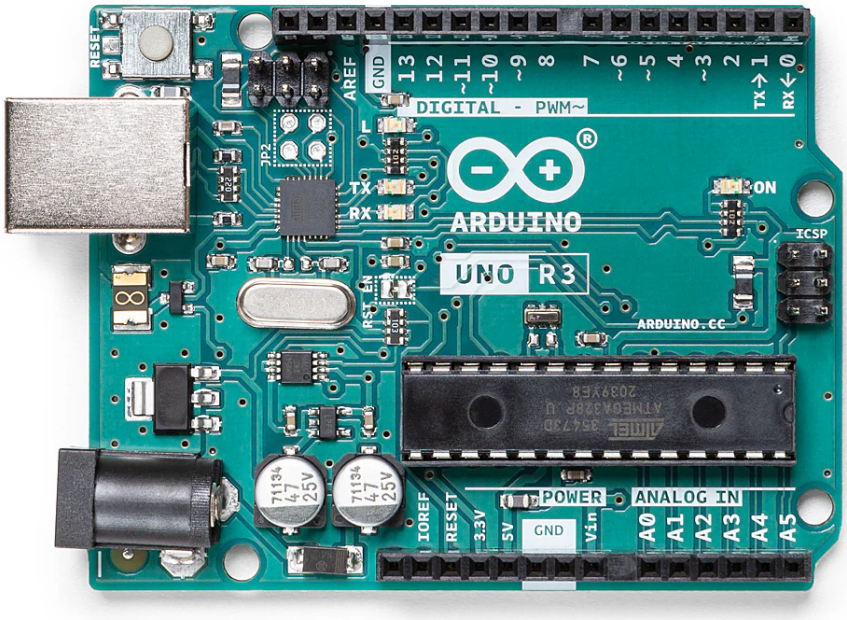


FIGURE 2.1 – *Arduino Uno Rev3 [20]*

Les Arduino Uno peuvent facilement interagir avec une variété de capteurs. De plus, leur compatibilité avec une multitude de bibliothèques et de modules d'extension en fait un choix idéal pour ce projet. Les Arduino Uno sont également abordables et largement disponibles, ce qui facilite leur intégration dans des projets de prototypage comme celui-ci. En utilisant ces microcontrôleurs, l'architecture peut être mise en œuvre de manière économique tout en offrant une grande flexibilité et extensibilité pour l'ajout de fonctionnalités supplémentaires à l'avenir.

2.4.2 Capteurs

– **Un capteur à ultrasons**

Le capteur HC-SR04 utilise les ultrasons pour déterminer la distance d'un objet. Il offre une excellente plage de détection sans contact. Une plage de mesure de 2 cm à 400 cm. [21]

FIGURE 2.3 – *Capteur de turbidité [22]*

FIGURE 2.2 – *Capteur HC-SR04 [21]*

– **Un capteur de turbidité**

  Ce capteur utilise la lumière pour mesurer la quantité de particules en suspension dans un liquide. Plus la solution est trouble, plus la lumière est diffusée et moins le signal électrique est important, ce qui se traduit par une tension de sortie plus basse.

– **Un capteur de température**

  Le capteur de température DS18B20 est un capteur numérique robuste et précis, idéal

pour une large gamme d'applications. Il se distingue par sa simplicité d'utilisation, sa fiabilité et son prix abordable. Doté d'une sonde en acier inoxydable robuste et d'un câble gainé de 0,9 m, il offre une plage de mesure étendue de -55°C à +125°C . Sa précision élevée de ±0,5°C (sur une plage de -10° à +85°C) garantit des mesures fiables. L'interface 1 fil simple facilite la connexion à divers microcontrôleurs, tels que les cartes Arduino, Raspberry Pi.

FIGURE 2.4 – *Capteur de température DS18B20 [22]*

– **Un capteur TDS pour la conductivité**

Le capteur GT0429 de TDS (Total Dissolved Solids) offre un moyen simple et précis de mesurer la qualité de l'eau. Il se connecte à une entrée analogique d'une carte compatible Arduino et fournit des données fiables sur la concentration de solides dissous dans l'eau, un indicateur important de sa pureté. Doté d'une sonde étanche et d'une interface analogique facile à utiliser, ce capteur s'intègre aisément dans divers projets Arduino. Sa faible consommation d'énergie le rend idéal pour les applications alimentées par batterie.

FIGURE 2.5 – *Le capteur TDS GT0429 [22]*

– **Un capteur de pH**

Ce capteur pH économique, compatible avec Arduino, est parfait pour une utilisation générale. Il peut mesurer un pH de 0 à 14 dans une plage de température de 0 à 60 °C. Le capteur génère une tension analogique correspondant au pH mesuré et peut être connecté à une entrée analogique d'une carte Arduino ou directement sur le shield d'expansion E/S via le cordon fourni. Il est à noter que ce capteur doit être utilisé dans un liquide stable et électriquement neutre, et ne doit pas rester immergé dans la solution à mesurer. Alimenté par 5 Vcc, il offre une précision de ± 0,1 pH à 25 °C.

FIGURE 2.6 – *Capteur PH PH-4502C [22]*

– **Un capteur de débit**

Ce capteur de débit, adapté uniquement pour. Il fonctionne avec une alimentation de 5 à 24 Vcc, mesure un débit de 1 à 30 l/min avec une précision de +/- 3 % entre 1 et 10 l/min. La formule de conversion est : débit (en l/min) = fréquence (en Hz) / 7,5. Il peut être utilisé à une température de 0 à 80°C et supporte une pression maximale de 1,2 Mpa. Il a un diamètre de filetage de 1/2" et pèse 43 g.

FIGURE 2.7 – *Capteur de débit [22]*

– **Un capteur de pression**

Le capteur de pression d'eau analogique Gravity 0-10 Bar de DFRobot est un dispositif conçu pour une large gamme d'applications, y compris la détection de la pression de l'eau dans les systèmes résidentiels et extérieurs, ainsi que dans les réservoirs. Il est compatible avec les cartes Arduino et offre une sortie de tension linéaire de 0,5 à 4,5V. Il est adapté pour une utilisation dans les systèmes de contrôle de maison intelligente et les applications IoT. Le capteur a une précision de mesure de 0,5% à 1% et fonctionne dans une plage de température de -20 à 85°C. Il a une durée de vie de 10 millions de fois et pèse 117g.

FIGURE 2.8 – *Capteur de pression [23]*

2.5 NRF24l01

Le module radio nRF24L01 est un dispositif de Nordic Semiconductor qui fonctionne sur la bande des 2,4 GHz. Il offre une transmission de données à différentes vitesses, allant de 250 kbps à 2 Mbps, en fonction des besoins et de la portée souhaitée. Cependant, une vitesse plus élevée peut réduire la portée du signal et augmenter le risque d'erreurs. Le module a une mémoire limitée à 32 octets par message. Il est également limité à 6 canaux de communication simultanés, avec un seul canal utilisable en émission/réception. Pour la communication, un tunnel doit être ouvert entre les deux modules, nécessitant un canal ouvert en écriture pour l'expéditeur et le même canal en lecture pour le destinataire.

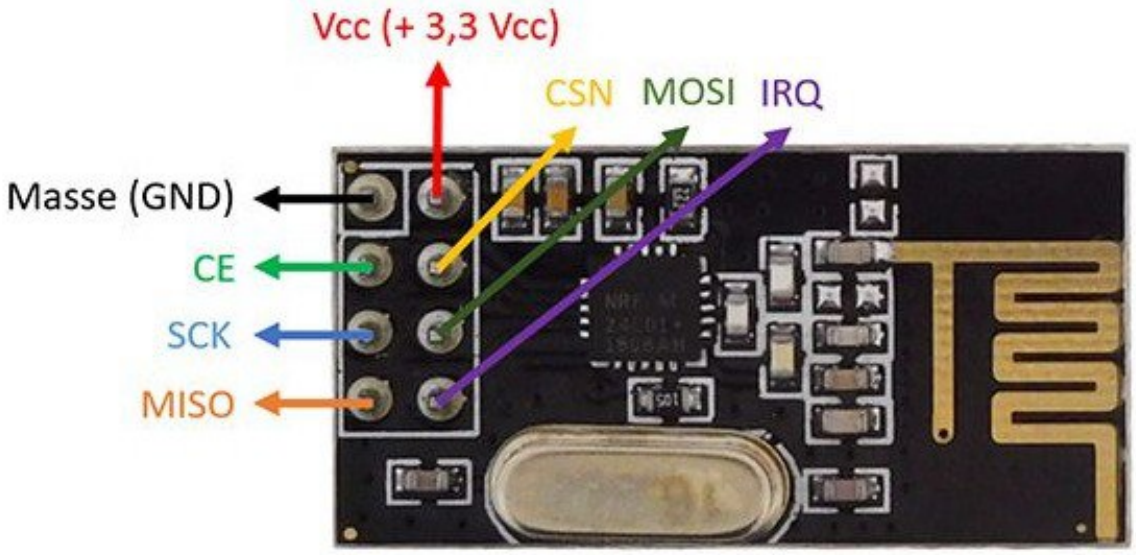


FIGURE 2.9 – *NRF24l01 [22]*

2.6 Conception logicielle

Les données sont initialement collectées par des capteurs reliés à des cartes Arduino, lesquelles transmettent ces données à une Raspberry Pi. La Raspberry Pi sert d'intermédiaire et envoie les données recueillies vers un PC. Ce dernier gère la communication via le protocole HTTP, assurant une transmission fiable des données. Les informations reçues sont ensuite stockées dans une base de données MongoDB, offrant une solution de stockage flexible et évolutive. Sur le même PC, une application web est déployée pour permettre la visualisation des données en temps réel. Cette architecture assure non seulement une collecte efficace des données, mais aussi leur traitement et leur visualisation, permettant ainsi une surveillance continue et en temps réel des paramètres mesurés par les capteurs.

2.6.1 Raspberry Pi

Pour ce projet, une Raspberry Pi 4 équipé du système d'exploitation Raspberry OS est utilisée. Le Raspberry Pi est ce qu'on appelle un nano-ordinateur. De la taille d'une carte de crédit, conçue par des professeurs du département informatique de l'université de Cambridge dans le cadre de la fondation Raspberry Pi 3. il est équipé du strict nécessaire [24] :

Un microprocesseur ARM

De la mémoire RAM

Une carte vidéo

Une carte ethernet
Le Wi-fi
Le Bluetooth

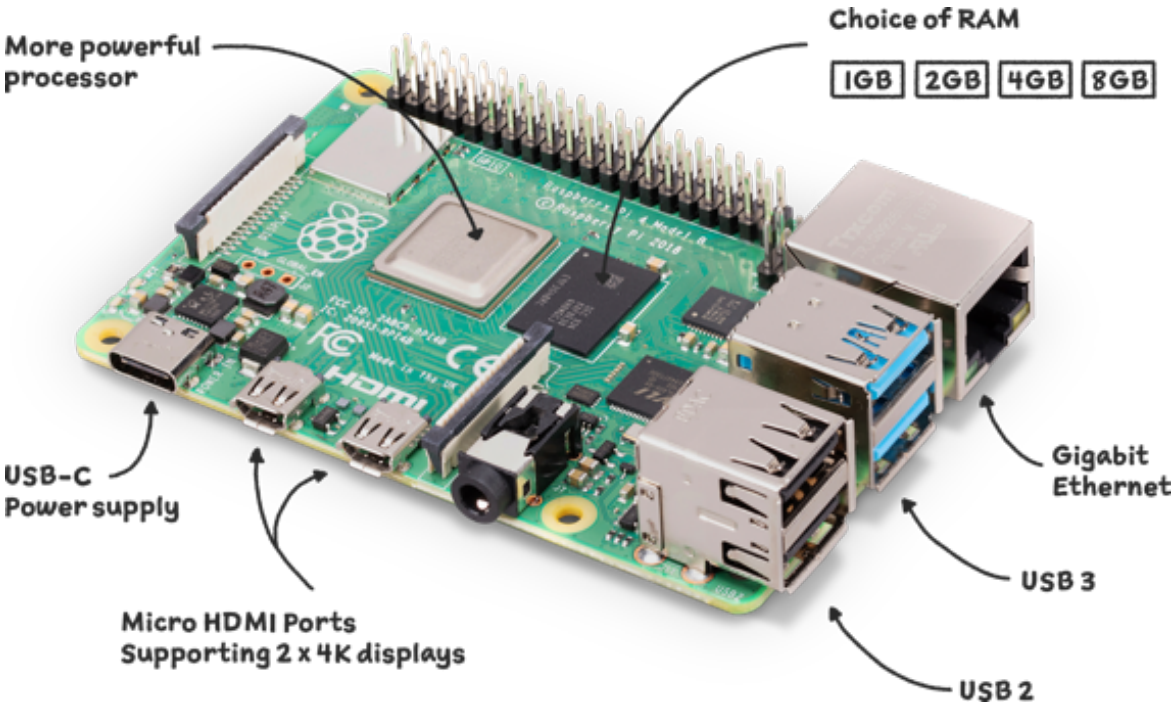


FIGURE 2.10 – *Raspberry Pi 4 [25]*

Raspberry Pi OS (anciennement nommé Raspbian 2) est un système d'exploitation libre et gratuit basé sur Debian optimisé pour fonctionner sur les différents Raspberry Pi.[26]

2.6.2 MongoDB

Selon le site officiel de MongoDB, MongoDB est une base de données orientée documents qui stocke les données dans des documents flexibles de type JSON, permettant des requêtes ad hoc, indexation et agrégation en temps réel. Il est distribué, offrant haute disponibilité, évolutivité horizontale, et distribution géographique intégrées. MongoDB est gratuit et propose des fonctionnalités telles que la réplication, le sharding natif, la sécurité de bout en bout, la validation de schémas, et des outils de gestion pour l'automatisation, la surveillance et la sauvegarde.[27]

FIGURE 2.11 – *Le logo de mongoDB [27]*

La base de données utilisée pour ce projet est MongoDB, et le diagramme de classe UML présenté en dessous illustre la structure de cette base de données.

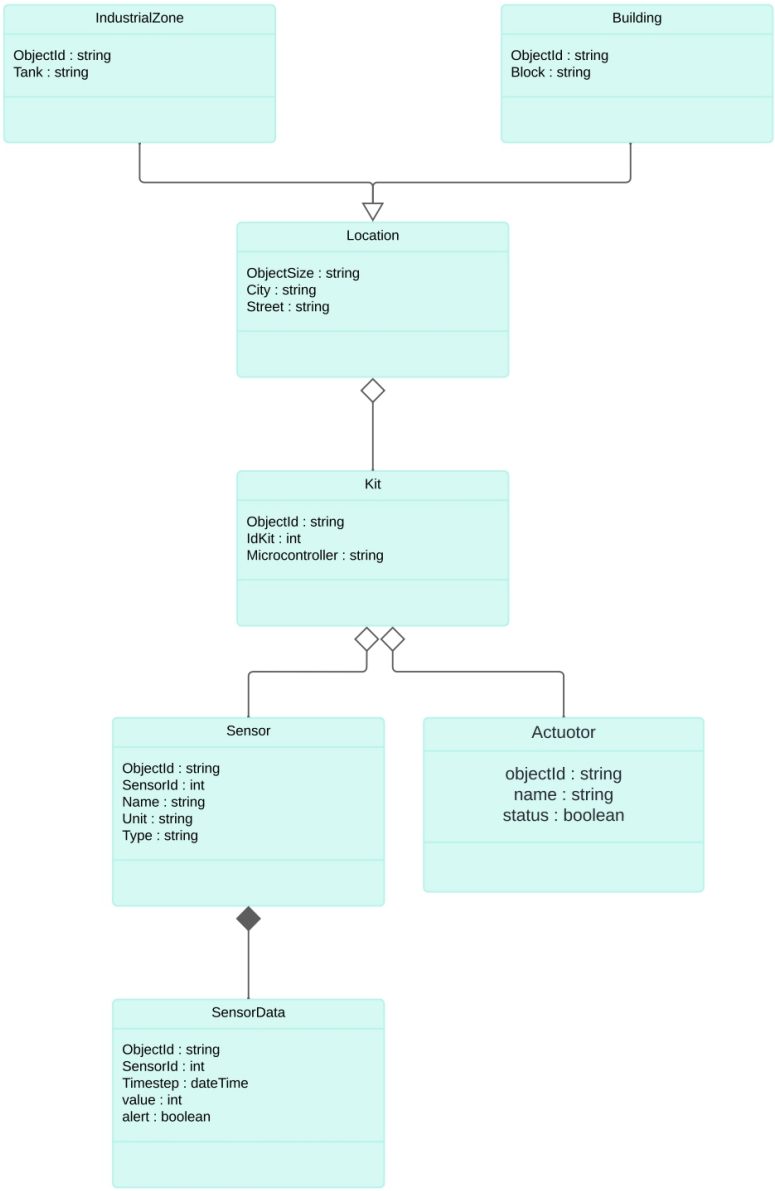


FIGURE 2.12 – *Diagramme de classe UML de la structure de la base de données*

Ce diagramme de classes UML décrit les classes principales et leurs relations dans le contexte d'une application utilisant MongoDB comme système de gestion de base de données.

Les principales entités sont les suivantes :

Location (Emplacement) : Cette classe représente un emplacement physique, comme une ville (city) et une rue (street).

Building (Bâtiment) : Cette classe représente un bâtiment situé à une certaine adresse (LocationID). Chaque bâtiment a également un identifiant unique (id) et un numéro de bloc (bloc).

IndustrialZone (Zone Industrielle) : Cette classe représente une zone industrielle. Elle a un réservoir (tank) et est associée à une certaine adresse (LocationID).

Kit : Cette classe représente un ensemble de composants utilisés ensemble. Chaque kit a un identifiant unique (id), un identifiant généré par l'utilisateur , un microcontrôleur et est associé à une zone industrielle ou à un bâtiment (IndustrialZoneID, BuildingID).

Sensor (Capteur) : Cette classe représente un capteur utilisé pour collecter des données. Chaque capteur a un identifiant unique (id) généré par l'utilisateur et un nom de capteur, le type, et l'unité de mesure de ce capteur.

SensorData (Données de Capteur) : Cette classe représente les données collectées par les capteurs. Chaque donnée de capteur est associée à un capteur (SensorID), une horodatage (timestamp), les données elles-mêmes (value) et alert (elle est égale à 1 en cas d'anomalie et à 0 en absence d'anomalie).

Actuator (Actionneur) : Cette classe représente un actionneur utilisé pour effectuer des actions. Chaque actionneur a un identifiant unique (id), un nom (name), son staut (status), et il est associé à un kit (idKit).

2.6.3 Flask

Flask est un microframework open-source pour le développement web en Python. Classé comme microframework en raison de sa légèreté, Flask vise à maintenir un noyau simple mais extensible. Il ne comprend pas de système d'authentification, de couche d'abstraction de base de données, ni d'outil de validation de formulaires. Toutefois, de nombreuses extensions sont disponibles pour ajouter facilement ces fonctionnalités. Flask est distribué sous licence BSD.[28]

FIGURE 2.13 – *Le logo de Flask [29]*

2.6.4 Visualisation

L'application développée permet de gérer et de visualiser les données provenant de divers capteurs de manière intuitive et sécurisée. Les utilisateurs authentifiés peuvent accéder à plusieurs fonctionnalités via une interface conviviale. Ils peuvent visualiser les données en temps réel, examiner les kits disponibles, inspecter l'état des capteurs, et voir les différents emplacements des capteurs. En outre, ils peuvent recevoir des alertes lorsque certains paramètres des capteurs dépassent des seuils prédéfinis, ce qui permet une surveillance proactive et une réaction rapide en cas de besoin.

Les administrateurs disposent de fonctionnalités supplémentaires qui leur permettent de gérer les capteurs, y compris leur ajout, modification et suppression. Ils peuvent également gérer les utilisateurs de l'application, assigner des rôles et des permissions spécifiques, créer et organiser les kits de capteurs, et déterminer les emplacements précis de chaque capteur. Ces opérations sont cruciales pour maintenir l'intégrité et l'efficacité du système.

L'authentification est une composante clé de l'application, assurant que seules les personnes autorisées peuvent accéder aux informations sensibles et effectuer des modifications. Cette sécurité est essentielle pour protéger les données et garantir la fiabilité du système.

En somme, l'application offre une solution pour la gestion et la visualisation des données de capteurs, facilitant ainsi la surveillance et la maintenance d'un réseau complexe de capteurs avec une interface utilisateur simplifiée et sécurisée.

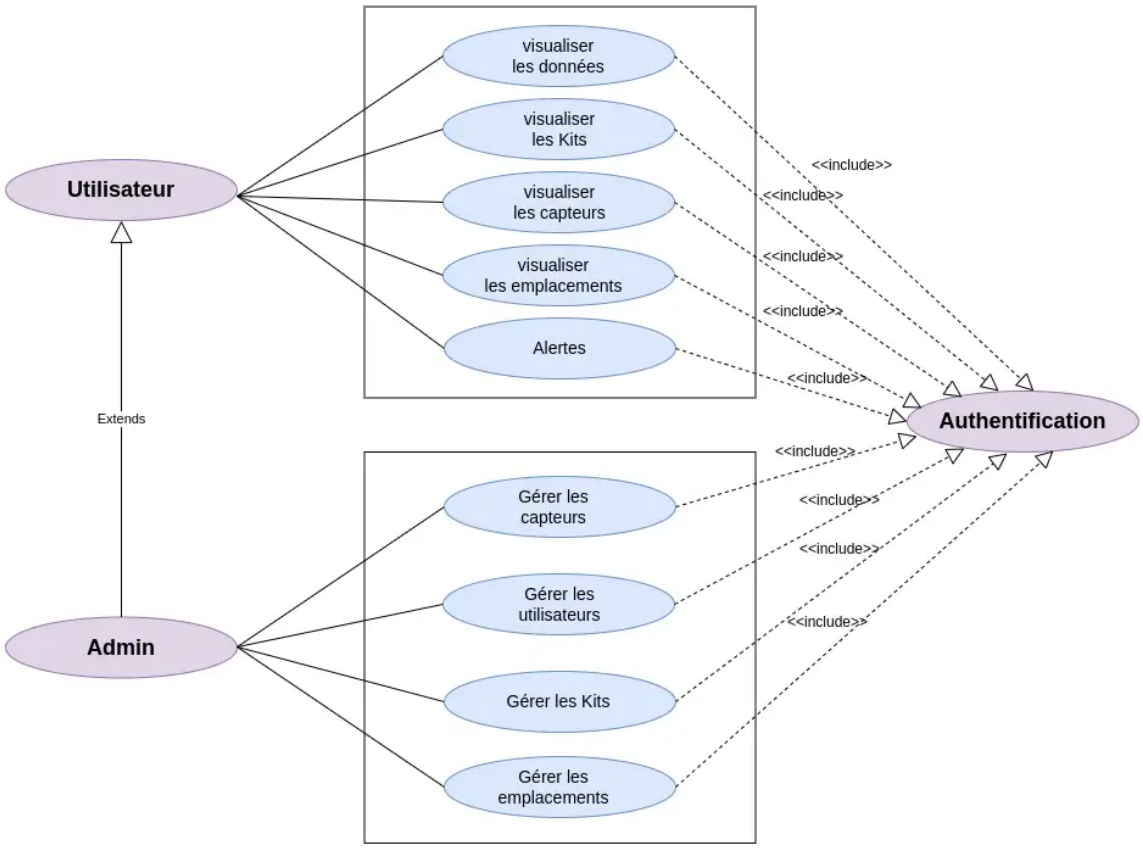


FIGURE 2.14 – *Diagramme de cas d'utilisation de l'application Web*

2.7 Le Protocole HTTP

HTTP (HyperText Transfer Protocol) est un protocole de communication utilisé sur le World Wide Web. Il permet le transfert de données entre un client (généralement un navigateur web) et un serveur web. HTTP fonctionne selon un modèle de requête-réponse : le client envoie une requête HTTP au serveur, et le serveur répond avec le contenu demandé, tel qu'une page web, une image ou un autre type de ressource. Les requêtes et réponses HTTP comportent des méthodes, des en-têtes, et éventuellement des corps de message. HTTP est sans état, ce qui signifie qu'il ne conserve pas d'informations sur les interactions précédentes entre le client et le serveur, bien que des mécanismes comme les cookies puissent être utilisés pour maintenir des sessions. La version sécurisée de HTTP est HTTPS, qui utilise SSL/TLS pour chiffrer les données transférées.[30]

2.8 Principe de fonctionnement de système

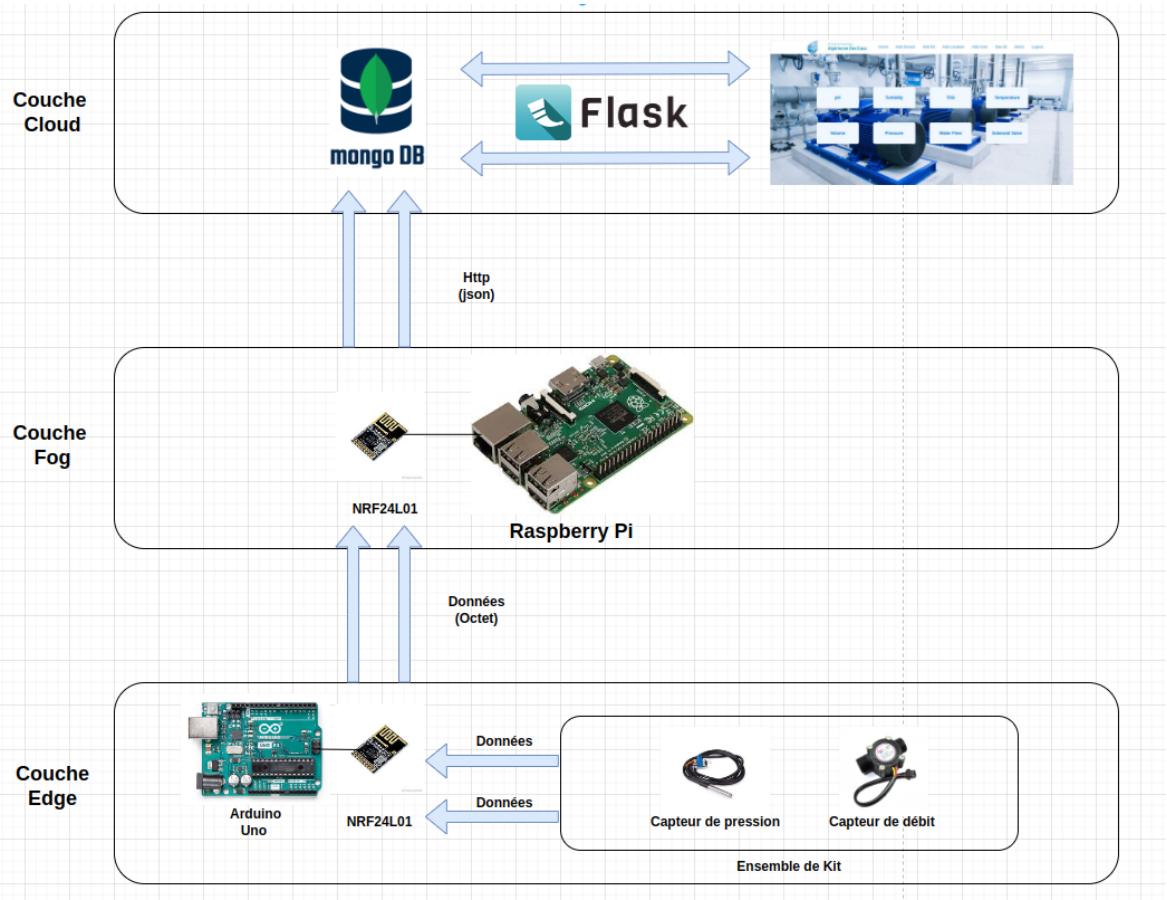


FIGURE 2.15 – *Architecture globale du système*

2.8.1 Couche Edge

La couche Edge est représentée par les capteurs d'eau connectés aux cartes Arduino équipées de modules NRS. Ces capteurs sont déployés sur le terrain pour collecter en temps réel des données sur la qualité de l'eau. Les cartes Arduino jouent un rôle crucial en tant que premiers points de contact avec les données générées par les capteurs. Elles collectent les données brutes et les soumettent à un processus de pré-traitement initial pour corriger les éventuelles erreurs ou incohérences, telles que le bruit ou les valeurs aberrantes. Cette étape de pré-traitement contribue à garantir la fiabilité et la qualité des données qui seront transmises aux niveaux supérieurs de l'architecture.

2.8.2 Couche Fog

Dans notre architecture, la couche Fog est représentée par la Raspberry Pi, qui agit comme un point de traitement local et intermédiaire entre les capteurs (Edge) et le stockage central (Cloud). La Raspberry Pi reçoit les données pré-traitées des capteurs via les cartes Arduino. Elle joue un rôle essentiel en effectuant des opérations de traitement supplémentaires sur les données, telles que l'agrégation, la détection d'anomalies ou la conversion de format. Cette couche Fog offre l'avantage de réduire la latence en effectuant une partie du traitement localement, ce qui améliore la réactivité du système tout en réduisant la charge sur le réseau.

2.8.3 Couche Cloud

La couche Cloud de notre architecture est représentée par un PC central qui agit comme un serveur de stockage et d'analyse des données. Ce PC reçoit les données traitées de la Raspberry Pi via le protocole HTTP. Il héberge une base de données où les données sont stockées à long terme pour une analyse ultérieure. De plus, le PC héberge une application de visualisation des données qui permet aux utilisateurs d'accéder aux données collectées, de les analyser et de générer des rapports ou des visualisations personnalisées. La couche Cloud offre ainsi des fonctionnalités avancées telles que le stockage sécurisé, l'analyse prédictive et la génération de rapports, ce qui permet une exploitation optimale des données collectées par les capteurs.

2.9 Conclusion

En conclusion, la mise en place d'un système de surveillance de distribution d'eau moderne représente une étape cruciale dans l'optimisation des opérations de l'Algérienne des Eaux. Grâce à l'utilisation de technologies telles que les capteurs connectés, les microcontrôleurs et les bases de données cloud, l'ADE peut bénéficier d'une gestion plus efficace et proactive de ses ressources hydriques.

Ce système offre non seulement la possibilité de détecter rapidement les anomalies et les incidents, mais il permet également une utilisation plus rationnelle de l'eau, contribuant ainsi à la préservation de cette ressource précieuse. En investissant dans des solutions technologiques innovantes, l'ADE peut non seulement améliorer ses performances opérationnelles, mais aussi répondre aux défis croissants liés à la gestion de l'eau dans un monde en constante évolution.

Chapitre 3

Implémentation du Systeme

3.1 Introduction

Ce chapitre explore en détail le processus d'implémentation de l'application de surveillance de la distribution d'eau. Cette application repose sur un système complexe impliquant des capteurs, des microcontrôleurs Arduino, une Raspberry Pi, un PC représentant le "cloud", une base de données MongoDB, et une application Python Flask pour la visualisation et le monitoring des données.

La première partie du système, où les capteurs liés aux Arduino envoient les données à la Raspberry Pi via des modules NRF, a été préalablement réalisée. Dans cette partie, nous nous concentrons sur la suite du processus, où les données collectées par la Raspberry Pi sont transmises au "cloud" via le protocole de communication HTTP, puis stockées dans une base de données MongoDB. Enfin, nous détaillons la conception et l'implémentation de l'application Python Flask qui permettra la visualisation et le monitoring de ces données.

Ce chapitre vise à fournir une compréhension approfondie du fonctionnement de l'application et de la manière dont chaque composant du système interagit pour assurer le suivi efficace de la distribution d'eau.

3.2 Présentation de l'Implémentation

Utilisation du Protocole HTTP pour l'Envoi de Données :

Le protocole HTTP a été sélectionné pour la transmission des données entre la Raspberry Pi, agissant en tant que passerelle de capteurs, et le PC représentant le "cloud". Cette décision découle de la simplicité et de la large prise en charge du protocole HTTP, permettant une communication fiable et efficace entre les différents composants du système. De plus, son utilisation répandue dans les applications Web facilite son intégration avec d'autres technologies telles que MongoDB et Flask.

Utilisation de MongoDB comme Base de Données :

MongoDB a été choisi comme système de gestion de base de données pour stocker les données collectées par l'application. La flexibilité et la scalabilité offertes par MongoDB sont particulièrement avantageuses dans un environnement où les données peuvent varier en termes de schéma et de volume. De plus, la prise en charge native du format JSON de MongoDB facilite le stockage et la manipulation des données, en cohérence avec l'utilisation de Python Flask pour la visualisation des données.

Utilisation du Framework Flask pour l'Application Web :

Le framework Flask a été retenu pour la création de l'interface utilisateur de l'application de surveillance. Connu pour sa légèreté et sa flexibilité, Flask permet un développement rapide d'applications Web Python. Son architecture modulaire et sa facilité d'utilisation ont été des facteurs déterminants dans le choix, permettant ainsi la création d'une interface utilisateur conviviale et intuitive pour la visualisation et le monitoring des données de surveillance.

3.3 Développement des Fonctionnalités

3.3.1 Transmission HTTP

Envoi des Données depuis la Raspberry Pi vers le PC

Une fois que les données ont été collectées par les capteurs et traitées par la Raspberry Pi, le processus de transmission des données vers le PC (serveur) est initié. Cette transmission est réalisée en utilisant le protocole HTTP, qui offre une communication fiable et largement prise en charge sur les réseaux locaux.

Le code exécuté sur la Raspberry Pi est responsable de l'envoi des données au PC. Lorsqu'une nouvelle série de données est disponible, le code crée une requête HTTP POST contenant les données collectées. Ces données sont formatées dans un format JSON pour assurer la compatibilité et la lisibilité. Ensuite, la requête est envoyée au PC via le réseau local, en utilisant l'adresse IP du PC et le port spécifié pour le serveur HTTP.

La Raspberry Pi agit comme un client HTTP dans ce processus, initié à intervalles réguliers ou en réponse à des événements spécifiques tels que la détection d'une anomalie par les capteurs. L'utilisation du protocole HTTP facilite l'intégration avec les serveurs Web et simplifie la gestion des requêtes et des réponses.

Réception des Données sur le PC et Stockage dans MongoDB

Sur le PC (serveur), un serveur HTTP est configuré pour écouter les requêtes POST envoyées par la Raspberry Pi. Lorsqu'une requête POST est reçue, un code spécifique exécuté sur le serveur intercepte la requête et extrait les données transmises par la Raspberry Pi.

Une fois les données extraites de la requête, elles sont généralement vérifiées pour garantir leur intégrité et leur validité. Ensuite, elles sont insérées dans une base de données MongoDB pour un stockage ultérieur et une analyse. La base de données MongoDB est choisie pour sa flexibilité et sa scalabilité, qui permettent de stocker efficacement des données de capteurs hétérogènes et de grande taille.

Le processus de réception des données et leur insertion dans MongoDB est géré par un code spécifique, qui prend en charge la gestion des requêtes entrantes, la manipulation des données et l'interaction avec la base de données. Cette partie du code assure la cohérence et la fiabilité des données stockées, ainsi que la performance optimale du système dans son ensemble.

Gestion des Alertes

En cas de détection d'une anomalie par les capteurs, un mécanisme d'affichage d'alertes est intégré dans le processus de réception des données sur le PC. Ce mécanisme déclenche l'affichage d'une boîte de message (MessageBox) sur le PC pour alerter les utilisateurs de la présence d'une anomalie.

Pour mieux comprendre ce processus, voici un diagramme de séquence illustrant la séquence d'actions lorsqu'une anomalie est détectée

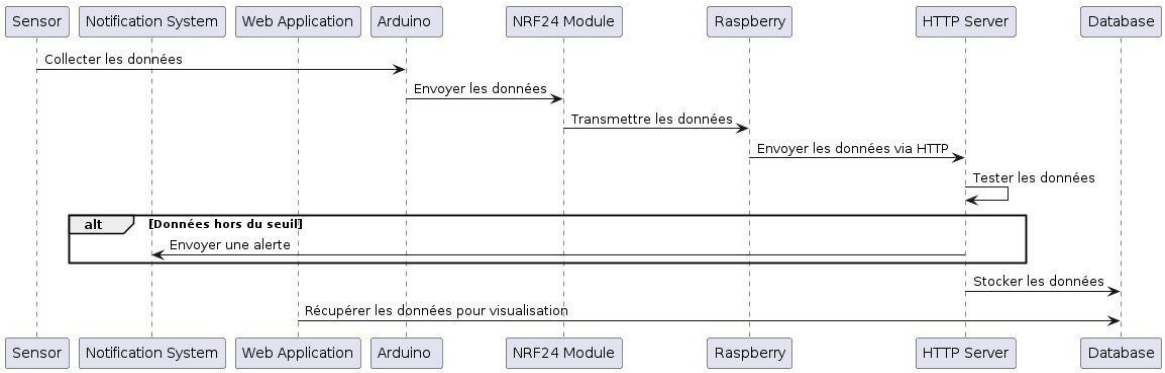


FIGURE 3.1 – *Diagramme de Séquence : Gestion des Alertes dans le Système de Surveillance*

Cette fonctionnalité permet d'informer instantanément les utilisateurs de la présence d'une anomalie détectée par les capteurs, garantissant ainsi une intervention rapide et appropriée.

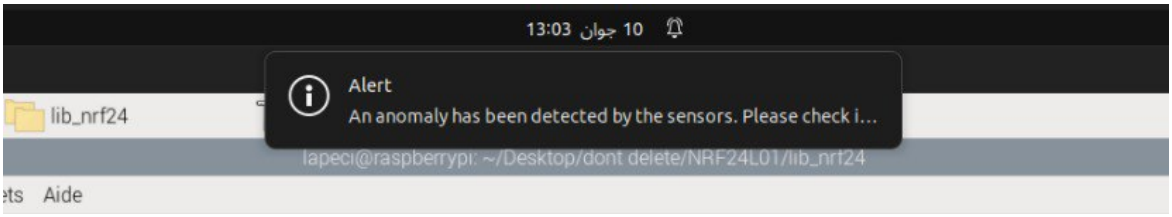


FIGURE 3.2 – *Affichage d'alerte*

3.3.2 l'implémentation de l'application Web pour l'utilisateur

3.3.2.1 Authentification des Utilisateurs

Avant de pouvoir accéder au dashboard et visualiser les données de surveillance, les utilisateurs doivent s'authentifier en utilisant leur adresse e-mail et leur mot de passe. Cette étape garantit la sécurité et la confidentialité des données en limitant l'accès uniquement aux utilisateurs autorisés.

Processus d'Authentification Le processus d'authentification comprend les étapes suivantes :

- Saisie des Identifiants : Les utilisateurs doivent saisir leur adresse e-mail et leur mot de passe dans les champs prévus à cet effet sur la page de connexion.
- Vérification des Identifiants : Les identifiants fournis par l'utilisateur sont vérifiés par le système pour s'assurer de leur validité et de leur correspondance avec les enregistrements de la base de données des utilisateurs.
- Cryptage SHA des Mots de Passe : Avant d'être stockés dans la base de données, les mots de passe des utilisateurs sont soumis à un processus de cryptage sécurisé à l'aide de l'algorithme de hachage SHA (Secure Hash Algorithm). Ce cryptage garantit que les mots de passe restent sécurisés, même en cas d'accès non autorisé à la base de données.
- Validation de l'Accès : Si les identifiants sont valides et que le mot de passe correspond au hachage SHA stocké dans la base de données, l'utilisateur est autorisé à accéder au dashboard et à visualiser les données de surveillance.
- Sécurité et Confidentialité : L'utilisation du cryptage SHA pour les mots de passe des utilisateurs garantit un niveau supplémentaire de sécurité et de confidentialité des données. Les mots de passe hachés ne peuvent pas être inversés pour récupérer le mot de passe d'origine, ce qui protège les utilisateurs contre les tentatives de piratage et les accès non autorisés.

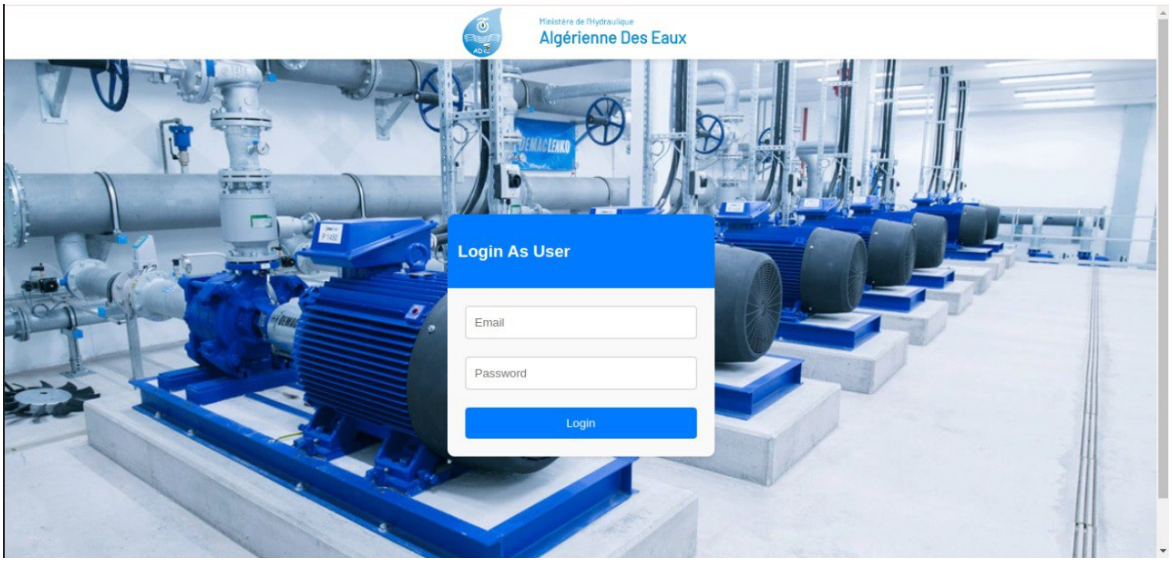


FIGURE 3.3 – *Authentification pour l'utilisateur*

3.3.2.2 Dashboard et Visualisation des Données

Le dashboard est une composante essentielle du système de surveillance, offrant une interface conviviale et intuitive pour visualiser et analyser les données collectées par les capteurs. Il offre une vue d'ensemble complète des données de surveillance, permettant aux utilisateurs de suivre en temps réel les valeurs de chaque capteur.

3.3.2.3 Fonctionnalités du Dashboard

Sur la page d'accueil de l'application, les utilisateurs ont la possibilité de sélectionner le type de mesure qu'ils souhaitent visualiser parmi une gamme de paramètres surveillés. Cette fonctionnalité permet aux utilisateurs de surveiller et d'analyser les données pertinentes en fonction de leurs besoins spécifiques.

- **Types de Mesures Disponibles**
  Les types de mesures disponibles comprennent :
  - pH : Mesure de l'acidité ou de la basicité d'une solution.
  - Turbidité : Mesure de la clarté ou de la transparence de l'eau.
  - TDS (Total Dissolved Solids) : Mesure de la concentration totale de solides dissous dans l'eau.
  - Débit d'eau : Mesure du débit ou de la vitesse du flux d'eau.
  - Pression : Mesure de la force exercée par l'eau sur une surface.
  - Température : Mesure de la température de l'eau.
  - Volume d'eau : Mesure du volume total d'eau consommé ou distribué.

– Électrovanne : État (ouverture ou fermeture) de l'électrovanne dans le système.

FIGURE 3.4 – *La page d'acueil pour l'utilisateur*

3.3.2.4 Étude de Cas : Visualisation des Données de Débit d'Eau (Water Flow)

Lorsqu'un utilisateur choisit de visualiser les données de débit d'eau (Water Flow) sur le Dashboard, plusieurs étapes se déroulent pour extraire, traiter et afficher ces données de manière claire et informative. Voici une description détaillée des étapes impliquées :

– Étape 1 : Sélection du Type de Mesure

  L'utilisateur sélectionne "Water Flow" parmi les différents types de mesures disponibles sur le Dashboard. Cette action déclenche une requête au serveur pour récupérer les données correspondantes.

– Étape 2 : Sélection de l'Identifiant du Capteur

  L'utilisateur sélectionne l'identifiant d'un capteur de débit d'eau spécifique. Cette étape est nécessaire car il peut y avoir plusieurs capteurs de débit d'eau installés dans différents endroits.

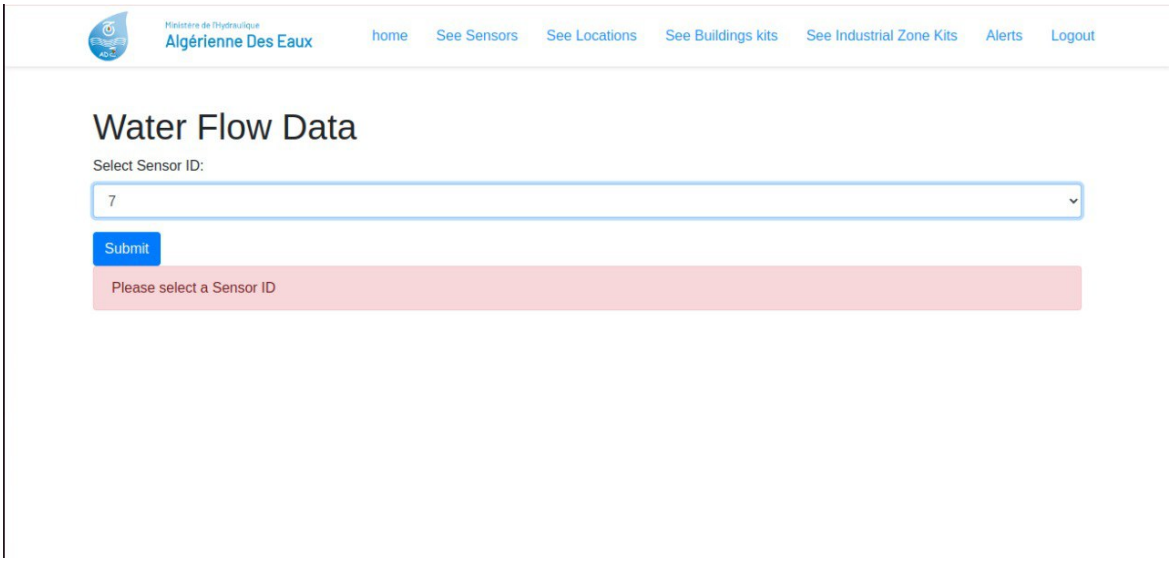


FIGURE 3.5 – *Sélection du capteur*

– Étape 3 : Requête au Serveur

  Une requête HTTP est envoyée au serveur Flask pour récupérer les données du capteur de débit d'eau spécifié. Cette requête contient l'identifiant du capteur, ce qui permet de filtrer et de récupérer uniquement les données pertinentes. Le serveur Flask traite la requête et interroge MongoDB pour extraire les enregistrements du capteur de débit d'eau spécifié

– Étape 4 : Affichage des Données

  Les données sont envoyées au client (navigateur de l'utilisateur), où elles sont affichées sous forme de graphe. Le Dashboard utilise des bibliothèques de visualisation comme Plotly.js pour représenter les données.

  – **Axe X :** Temps (timestamps des enregistrements)
  – **Axe Y :** Valeurs de débit d'eau mesurées par le capteur

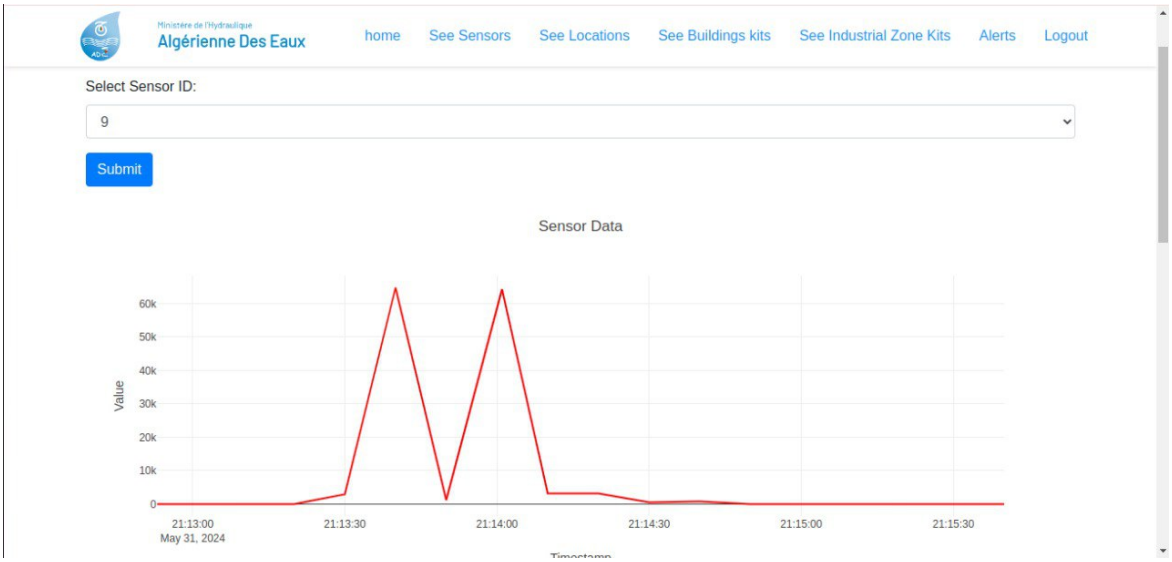


FIGURE 3.6 – *La présentation graphique pour les données de capteur 9*

– Étape 5 : Affichage de l'Historique

Dans la même page du graphe, un tableau affiche l'historique des enregistrements de débit d'eau. Chaque ligne du tableau contient une valeur de débit d'eau et le timestamp correspondant, permettant à l'utilisateur de consulter les données de manière détaillée

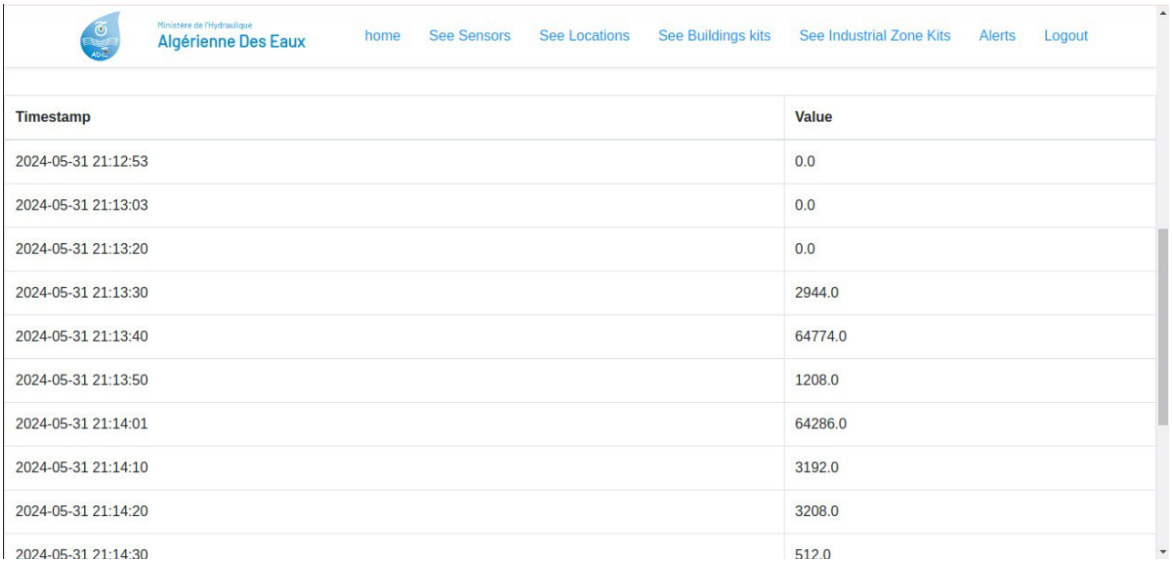


FIGURE 3.7 – *L'affichage d'historique du capteur 9*

Actionneurs : Électrovanne

– Étape 1 : Accès à la Page d'Actionneurs

Depuis la page d'accueil du Dashboard, l'utilisateur peut accéder à la section des actionneurs. En cliquant sur l'option "solenoid valve", une liste des actionneurs disponibles est affichée. Dans ce cas particulier, il n'y a qu'une seule électrovanne .

– Étape 2 : Visualisation des Détails de l'Électrovanne
  La page de l'électrovanne affiche les détails suivants :
  – **Identifiant** : Unique pour chaque électrovanne.
  – **Nom** : Le nom de l'actionneur, ici "solenoid valve ".
  – **Statut** : Indique si l'électrovanne est activée (On) ou désactivée (Off).
  – **Kit** : Indique le kit ou le module auquel l'électrovanne est rattachée.

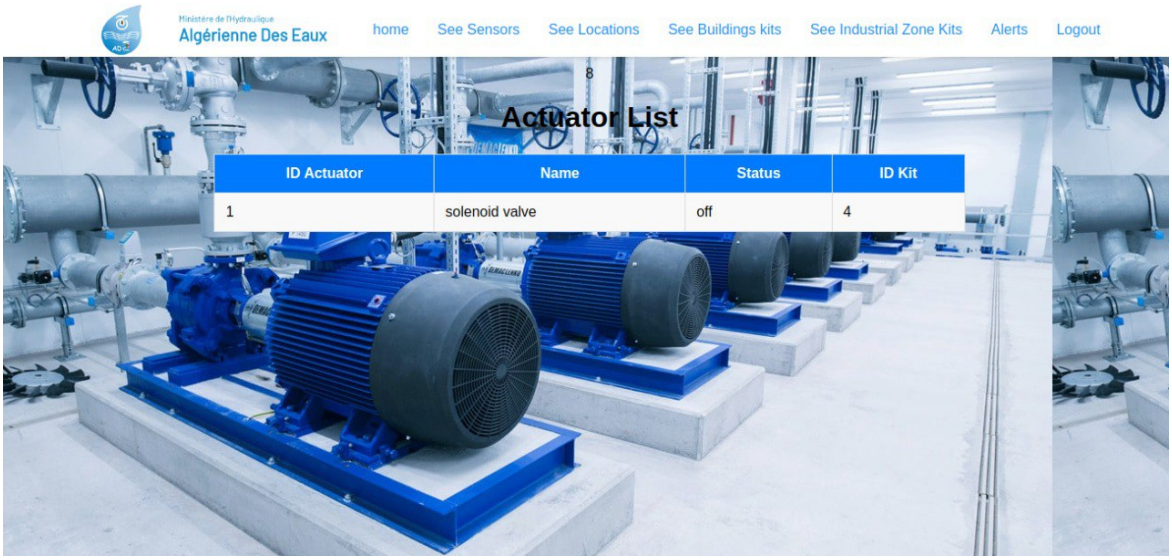


FIGURE 3.8 – *L'affichage de l'electrovanne*

Le Menu du Dashboard

Le menu du Dashboard est une composante essentielle de l'interface utilisateur, offrant un accès facile et rapide aux différentes fonctionnalités de l'application. Voici une description détaillée des éléments présents dans le menu.

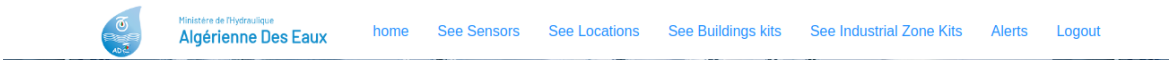


FIGURE 3.9 – *Menu pour utilisateur*

– **Bouton "Logout"**
  – Fonctionnalité : Permet à l'utilisateur de fermer sa session en toute sécurité.
  – Utilisation : En cliquant sur ce bouton, l'utilisateur est déconnecté et redirigé vers la page de connexion.

- **Bouton "Alertes"**
  - Fonctionnalité : Affiche l'historique des alertes détectées par le système.
  - Utilisation : En accédant à cette section, l'utilisateur peut voir toutes les alertes générées, avec la possibilité de gérer chaque alerte.
  - Gestion des alertes : Pour chaque alerte, il y a un bouton "Handle alertes" qui permet de marquer l'alerte comme traitée, et de le supprimer de l'historique d'alerte.

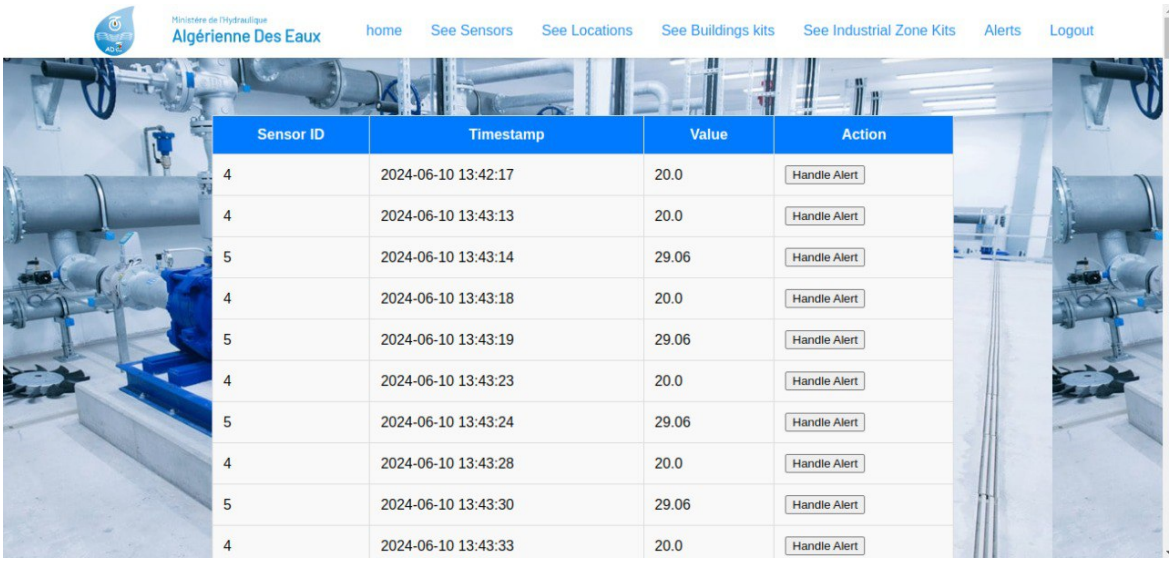


FIGURE 3.10 – *L'historique des alertes*

- **Bouton "Home"**
  - Fonctionnalité : Ramène l'utilisateur à la page d'accueil du Dashboard.
  - Utilisation : Peu importe la page sur laquelle l'utilisateur se trouve, ce bouton permet de revenir facilement à la page principale.
- **Bouton "See Sensor"**
  - Fonctionnalité : Liste tous les capteurs enregistrés dans le système.
  - Utilisation : En cliquant sur ce bouton, une table avec les détails de chaque capteur, tels que l'ID, le type de mesure est affichée.

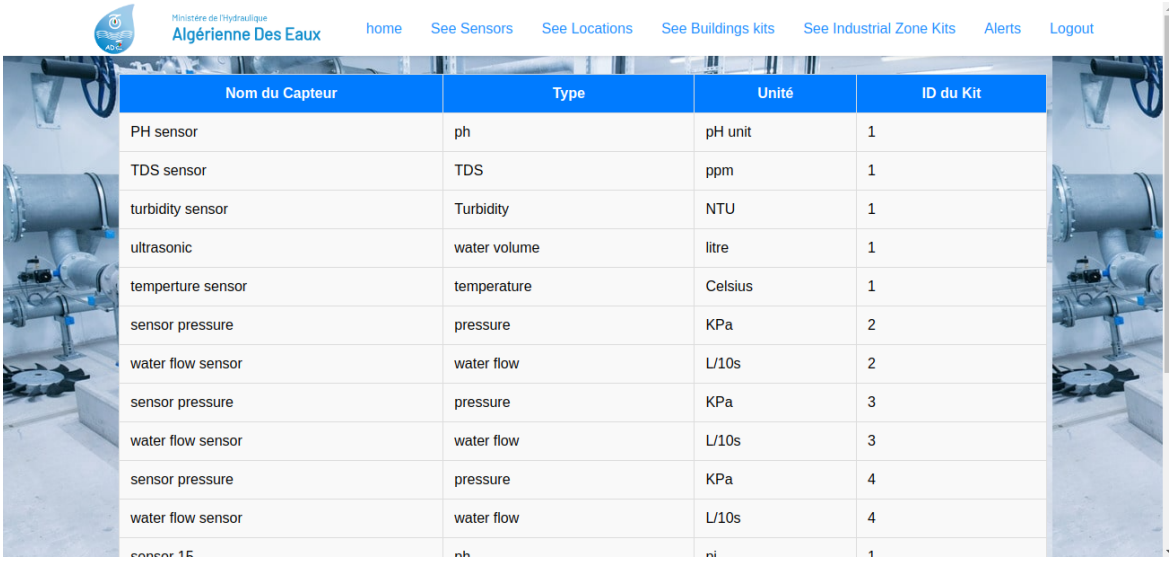


FIGURE 3.11 – *Affichage des capteur*

- **Bouton "See Location"**
  - Fonctionnalité : Montre les différentes localisations où les capteurs sont installés.
  - Utilisation : Ce bouton ouvre une table détaillant les différentes localisations, permettant à l'utilisateur de voir les emplacements des kits.

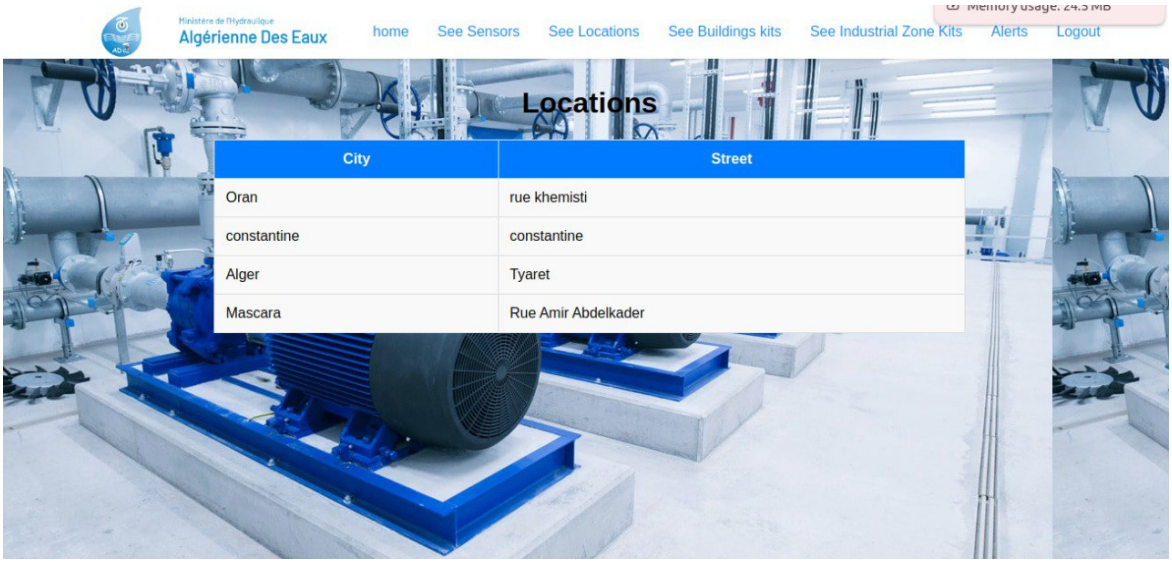


FIGURE 3.12 – *Affichage des emplacements*

- **Bouton "See Industrial Zone Kits"**
  - Fonctionnalité : Permet de visualiser les différents kits dans les différentes zones industrielles surveillées par le système.

  - Utilisation : En cliquant sur ce bouton, une table listant tous les kits dans les zones industrielles enregistrées est affichée. Les utilisateurs peuvent voir des détails comme le nom de la zone.

- **Bouton "See Building kits"**
  - Fonctionnalité : Permet de visualiser les différents kits dans les bâtiments surveillés par le système
  - Utilisation : En cliquant sur ce bouton, une table listant tous les kits dans les bâtiments enregistrés est affichée.

3.4 L'implémentation de l'application Web pour l'administrateur

L'application côté administrateur offre des fonctionnalités avancées pour gérer et superviser l'ensemble du système. Contrairement à l'utilisateur simple, l'administrateur dispose de privilèges supplémentaires pour ajouter, modifier, et supprimer des capteurs, des utilisateurs, et des localisations, ainsi que pour visualiser l'ensemble des données collectées par les capteurs. Toutes les fonctionnalités disponibles pour l'utilisateur simple sont également accessibles à l'administrateur

3.4.1 Fonctionnalités de l'application Administrateur

L'application Web, mis à part le menu, la page d'accueil ne change pas entre les utilisateurs simples et les administrateurs. Les fonctionnalités de visualisation des données, de sélection des types de mesures et de consultation des données restent les mêmes. Cependant, les administrateurs ont accès à des fonctionnalités supplémentaires via le menu.

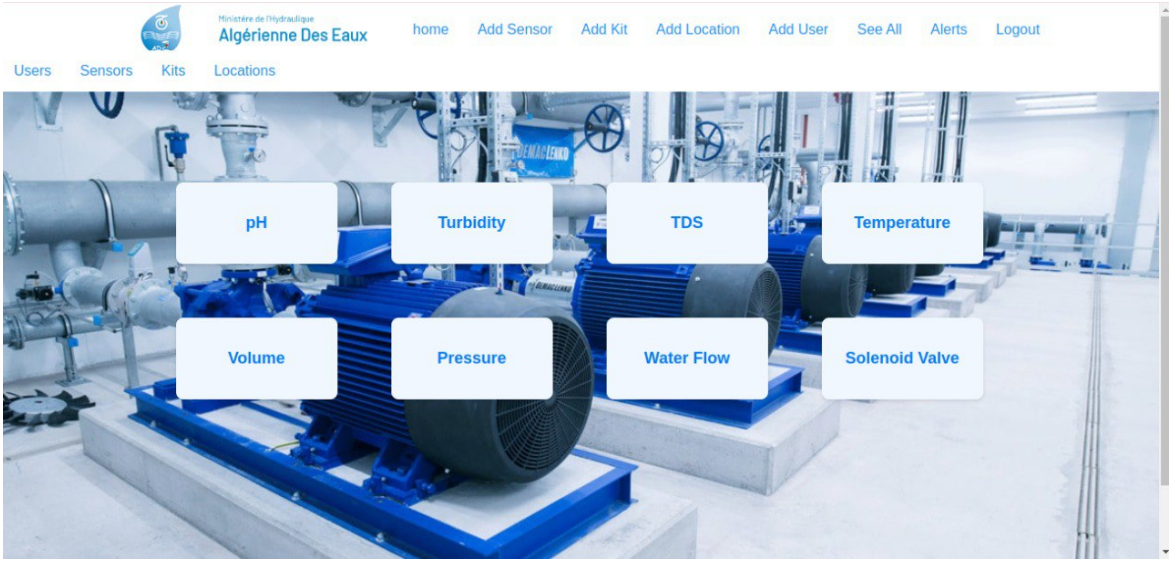


FIGURE 3.13 – *La page d'accueil pour l'administrateur*

3.4.2 Gestion des Utilisateurs

La gestion des utilisateurs est essentielle pour maintenir l'organisation et la sécurité du système. L'interface permet aux administrateurs de voir une liste des utilisateurs existants, ainsi que d'ajouter, modifier ou supprimer des utilisateurs selon les besoins. Ajout d'un Utilisateur L'interface d'ajout d'utilisateur comporte plusieurs champs qui doivent être remplis par l'administrateur : First Name : Le prénom de l'utilisateur. Last Name : Le nom de famille de l'utilisateur. Poste : Le poste ou le titre de l'utilisateur au sein de l'organisation. Code : Un code unique associé à l'utilisateur pour identification interne. Email : L'adresse e-mail de l'utilisateur, utilisée pour l'authentification et la communication. Password : Le mot de passe de l'utilisateur. Ce mot de passe est crypté avant d'être stocké dans la base de données pour garantir la sécurité. Phone : Le numéro de téléphone de l'utilisateur.

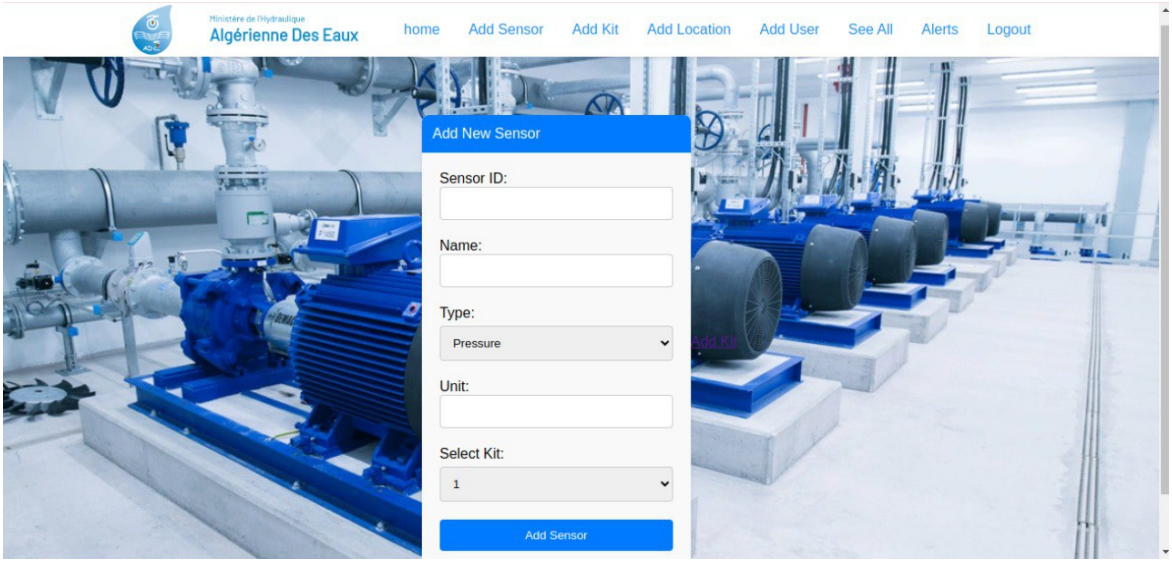


FIGURE 3.14 – *L'ajout d'un nouvel utilisateur*

3.4.3 La gestion d'un Utilisateur

Cette interface assure une gestion efficace des utilisateurs, permettant aux administrateurs de maintenir les informations à jour. En cliquant sur See All Users.

FIGURE 3.15 – *Gestion d'utilisateurs*

3.4.4 Ajout et Gestion des Locations

Ajout d'une Nouvelle Location

L'application Web permet aux administrateurs d'ajouter de nouvelles locations via un formulaire simple. Ce formulaire comprend deux champs essentiels :

- **City :** Le nom de la ville où se trouve la location.
- **Street :** Le nom de la rue de la location.

Cette fonctionnalité permet une gestion précise des différents emplacements où sont installés les capteurs et les actionneurs, facilitant ainsi la surveillance et l'intervention.

Formulaire d'Ajout de Location

Le formulaire d'ajout de location se présente comme suit :

- **City :** Champ texte pour entrer le nom de la ville.
- **Street :** Champ texte pour entrer le nom de la rue.

Une fois les informations saisies, l'administrateur clique sur le bouton "Add Location" pour enregistrer la nouvelle location dans le système.

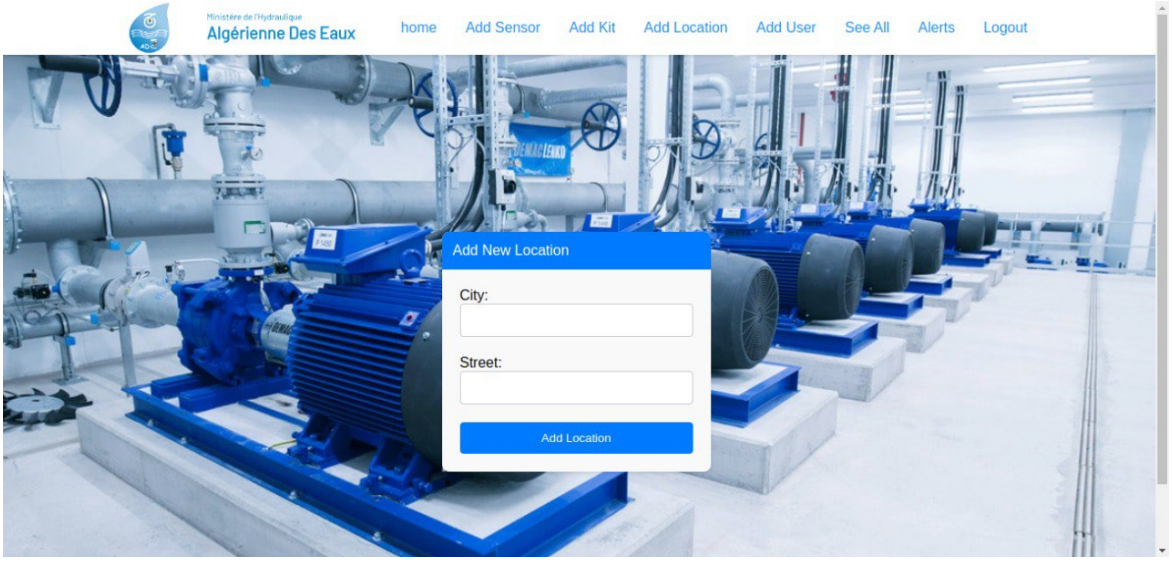


FIGURE 3.16 – *Ajout d'une Nouvelle Location*

Gestion des Locations

L'administrateur peut gérer toutes les locations existantes en utilisant l'interface de gestion des locations. En cliquant sur "See All" puis "Location", une table apparaît, listant toutes les locations déjà enregistrées dans le système. La table de gestion des locations comporte les colonnes suivantes :

- **City :** Le nom de la ville.
- **Street :** Le nom de la rue.

– **Actions :** Des actions permettant de modifier ("Edit") ou de supprimer ("Delete") une location.

Une fois les informations saisies, l'administrateur clique sur le bouton "Add Location" pour enregistrer la nouvelle location dans le système.

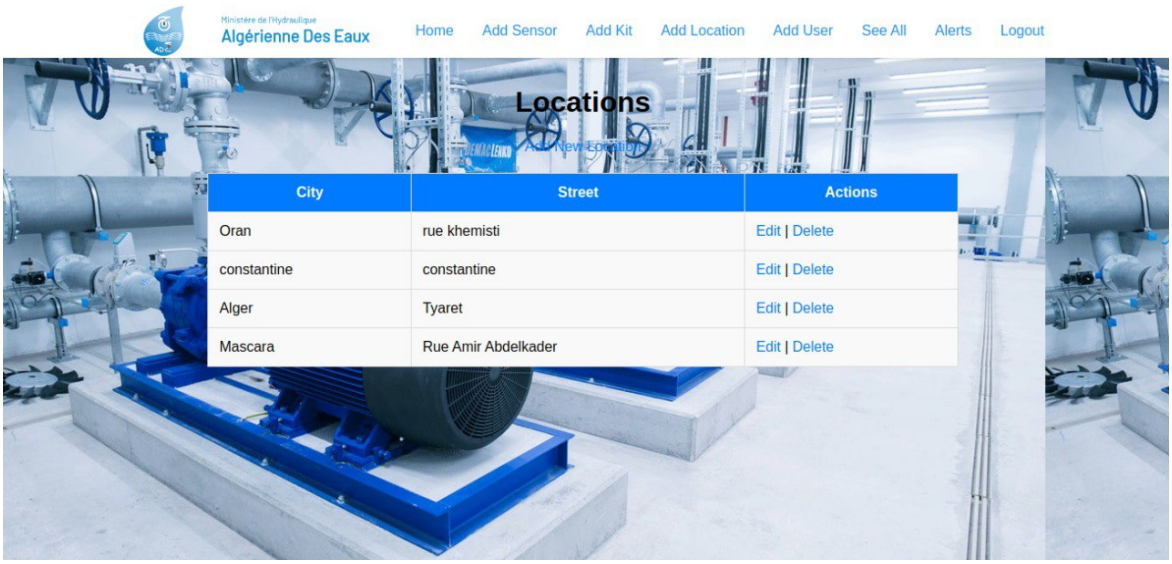


FIGURE 3.17 – *Gestion des Locations*

Gestion des capteurs

– **Ajout de Capteurs :** L'administrateur peut ajouter de nouveaux capteurs au système en fournissant des informations telles que le type de capteur, l'ID unique, etc. En cliquant sur Add Sensor.
– **Modification des capteurs :** Les informations des capteurs existants peuvent être modifiées pour refléter des changements comme le remplacement de capteurs ou la mise à jour de leurs configurations. En cliquant sur See All Sensors.
– **Suppression des capteurs :** Les capteurs qui ne sont plus en service peuvent être supprimés du système. En cliquant sur See All Sensors.

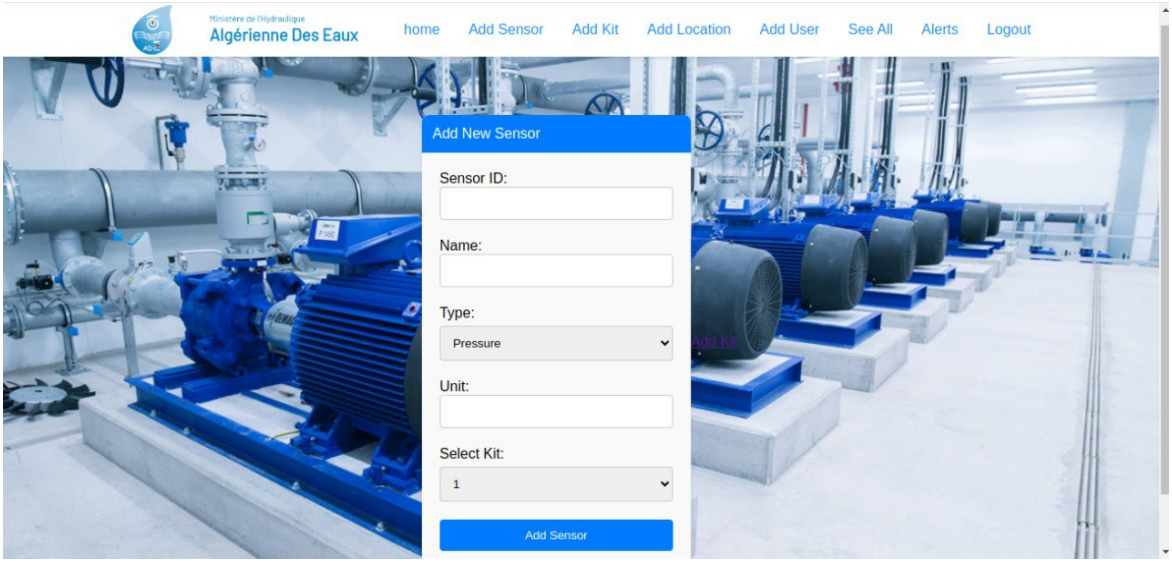


FIGURE 3.18 – *L'ajout d'un capteur*

Ajout des Kits

Dans le menu, en cliquant sur « Add Kit », l'administrateur a deux options : « Add Kit in Building » et « Add Kit in Industrial Zone ».

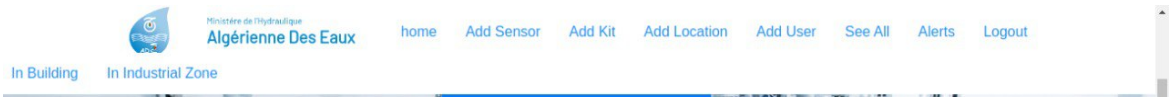


FIGURE 3.19 – *Add Kit*

Ajout d'un Kit dans une Zone Industrielle

Lorsqu'un administrateur choisit l'option « Add New Kit in Industrial Zone », une interface dédiée s'ouvre, permettant d'ajouter les informations nécessaires pour un nouveau kit.

Formulaire d'Ajout : Un formulaire apparaît, demandant les informations suivantes :

Kit ID : L'identifiant unique du kit.

Microcontroller : Le type de microcontrôleur utilisé dans le kit.

Tank : Le cuve où le kit sera installé.

Location : La sélection de l'emplacement précis du kit dans la zone industrielle.

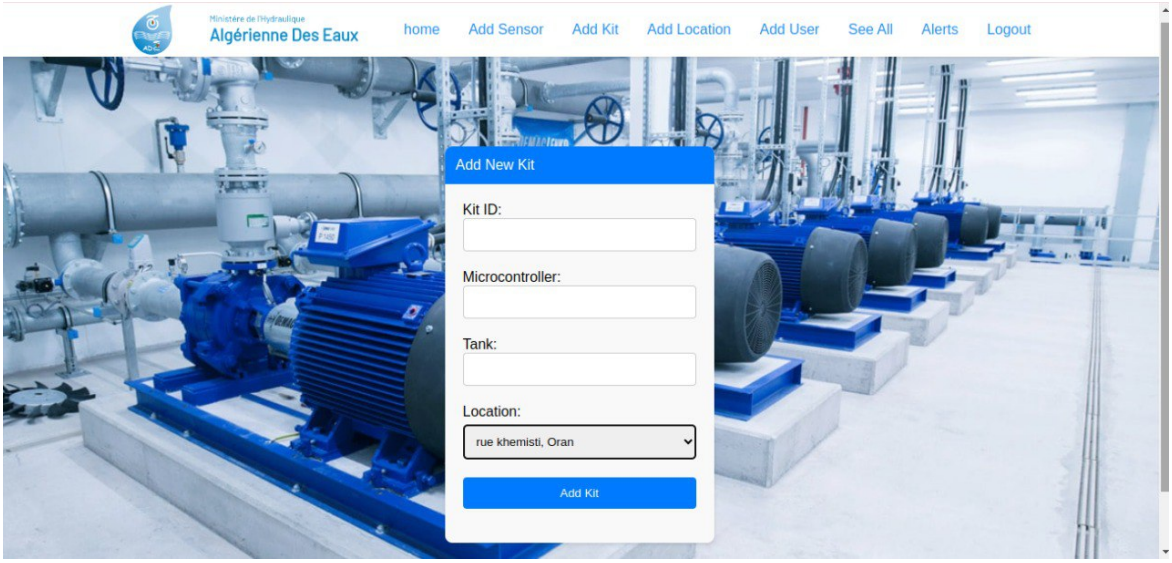


FIGURE 3.20 – *L'ajout d'un nouveau kit dans une zone industrielle*

Processus d'Ajout d'un Nouveau Kit dans un Bâtiment

Sélection de l'Option : L'administrateur clique sur « Add Kit » dans le menu principal et choisit l'option « Add Kit in Building ».

Formulaire d'Ajout : Un formulaire apparaît, demandant les informations suivantes :

Kit ID : L'identifiant unique du kit.

Microcontroller : Le type de microcontrôleur utilisé dans le kit.

Bloc : Le bloc où le kit sera installé.

Location : La sélection de l'emplacement précis du kit dans le bâtiment.

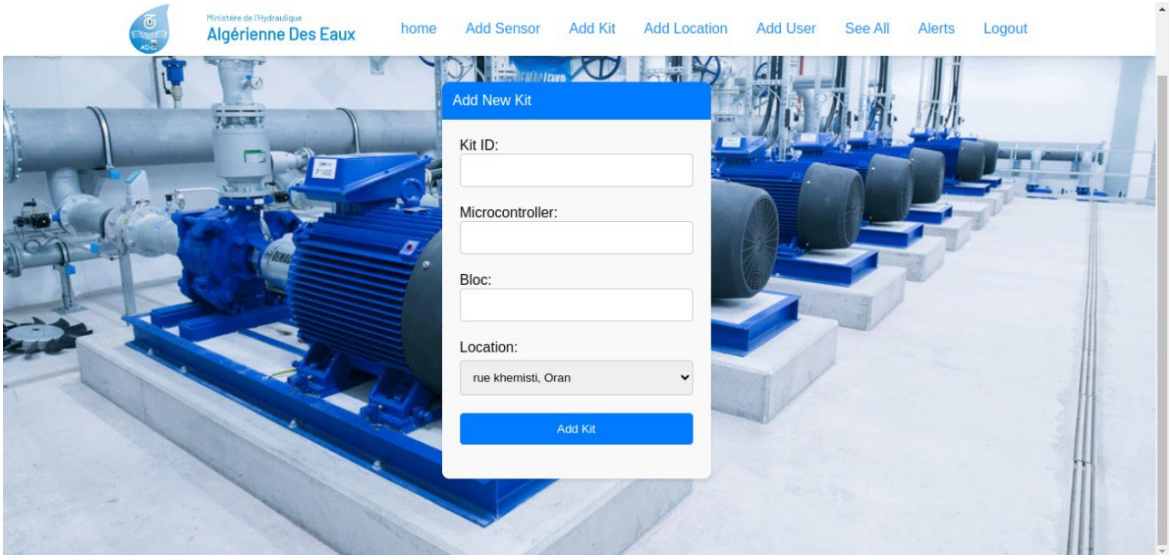


FIGURE 3.21 – *L'ajout d'un nouveau kit dans un bâtiment*

3.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté en détail l'implémentation du système de surveillance de la distribution d'eau, en se concentrant sur les technologies utilisées et les fonctionnalités développées pour assurer le bon fonctionnement de l'application.

En utilisant le protocole HTTP pour la transmission des données, MongoDB comme base de données et le framework Flask pour l'interface utilisateur, le système a été conçu pour être à la fois robuste et flexible.

Les fonctionnalités telles que la transmission des données, la gestion des alertes, l'authentification des utilisateurs, le dashboard et la visualisation des données ont été décrites en détail pour offrir une compréhension complète du fonctionnement de l'application.

Enfin, l'application côté administrateur a été présentée, mettant en avant les fonctionnalités supplémentaires et les privilèges accordés aux administrateurs pour gérer efficacement le système.

En combinant des technologies fiables avec une conception intuitive des fonctionnalités, l'application de surveillance de la distribution d'eau offre une solution complète et efficace pour assurer le suivi et la gestion des données de manière sécurisée.

Conclusion générale

En conclusion, ce mémoire a exploré l'importance de l'Internet des Objets (IoT) et des systèmes de visualisation de données en temps réel pour améliorer l'efficacité et la précision de la gestion de l'eau par l'Algérienne des Eaux (ADE). L'analyse a montré que les méthodes traditionnelles actuellement utilisées par l'ADE, bien qu'efficaces, présentent des limitations significatives face aux exigences croissantes de rapidité et de traitement de grands volumes de données.

L'application de visualisation en temps réel proposée offre une solution innovante pour surmonter ces limitations. En intégrant des capteurs IoT et des plateformes logicielles avancées, elle permet une surveillance continue et une analyse instantanée des données, facilitant ainsi une prise de décision éclairée et proactive. Cependant, il est important de noter que cette solution est actuellement à un stade prototypal et n'a pas encore été testée dans des conditions réelles.

Les perspectives de ce travail sont prometteuses. À court terme, la mise en œuvre de l'application proposée nécessitera une phase de test sur le terrain pour valider sa robustesse et son efficacité en conditions réelles. Des collaborations étroites avec l'ADE et d'autres parties prenantes seront essentielles pour adapter l'application aux spécificités locales et pour former le personnel à son utilisation optimale.

À moyen terme, l'extension de cette technologie à d'autres régions et secteurs de l'ADE pourrait permettre une gestion plus homogène et intégrée des ressources en eau à l'échelle nationale. L'ajout de fonctionnalités avancées, telles que des algorithmes de prédiction basés sur l'intelligence artificielle, pourrait encore améliorer la capacité de l'application à anticiper et à réagir aux changements dans les conditions de l'eau.

Enfin, à long terme, ce projet ouvre la voie à une transformation digitale plus large au sein de l'ADE et d'autres services publics similaires. L'adoption généralisée de l'IoT et des systèmes de visualisation en temps réel pourrait transformer la gestion des infrastructures critiques, rendant les services publics plus résilients, efficaces et réactifs aux besoins des citoyens.

En somme, l'application de visualisation en temps réel proposée représente une avancée significative vers la modernisation des pratiques de gestion de l'eau. Bien qu'elle soit encore au stade de prototype, elle offre des solutions concrètes aux défis actuels et pose les bases pour des améliorations continues et durables dans le futur.

Bibliographie

[1] Oracle. Qu'est-ce que l'iot. https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/, 2024.

[2] László Monostori. Cyber-physical production systems : Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17 :9–13, 2014.

[3] Wikipedia contributors. Système cyber-physique. https://fr.wikipedia.org/wiki/Syst%C3%A8me_cyber-physique.

[4] Réseau de capteurs sans fil. https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_capteurs_sans_fil, 2008.

[5] Architecture d'un réseau de capteurs sans fil. https://www.researchgate.net/figure/Architecture-dun-reseau-de-capteurs-sans-fil_fig8_275343154. Consulté le 14 juin 2024.

[6] Jean-Philippe Terrien. *Systèmes de surveillance : technologies, applications et enjeux juridiques*. 2019.

[7] Direction générale de la Concurrence, de la Consommation et de la Répression des fraudes. Objets connectés : les risques à connaître.

[8] Objetconnecte. Protocoles : découvrez les principales normes iot. https://www.objetconnecte.com/protocoles-iot-2022/.

[9] ResearchGate contributors. C architecture of a cyber-physical system. https://www.researchgate.net/figure/C-architecture-of-a-Cyber-Physical-System_fig1_346143847.

[10] Edward A. Lee. *Cyber-Physical Systems : Design and Analysis*. CRC Press, 2015.

[11] IONOS. Edge computing : Définition et avantages. https://www.ionos.fr/digitalguide/serveur/know-how/edge-computing/, 2024.

[12] Damien Verdon et al. Edge computing : A survey and assessment of the research landscape. *IEEE Internet of Things Journal*, 2015.

[13] Flavio Bonomi et al. Fog computing : Extending the cloud to the edge. *Proceedings of the IEEE*, pages 646–679, 2012.

[14] Rajkumar Buyya et al. Cloud computing for cyber-physical systems : A survey. *IEEE Transactions on Emerging Topics in Computing*, pages 13–36, 2018.

[15] Smart water networks. https://swan-forum.com/.

[16] Metron Submetering. Waterscope. https://metronsubmetering.com/waterscope/.

[17] Metron Submetering. How waterscope is transforming water management with iot and analytics. https://metronsubmetering.com/waterscope/,.

[18] Société des Eaux et de l'Assainissement d'Alger. Site web de la société des eaux et de l'assainissement d'alger (seaa). https://www.sedco.co/fr/.

[19] Site web de l'international water management institute (iwmi). https://www.iwmi.cgiar.org/.

[20] Arduino. Arduino uno rev3. https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3, 2024.

[21] Meriem BENIKHLEF and Ikram BENOTMANE. *Conception et réalisation d'un système d'acquisition de données d'un capteur ultrasons HC-SR04 en utilisant un algorithme de filtre de Kalman*. PhD thesis, 2019.

[22] Gotronic. Gotronic : Composants électroniques et robotique. https://www.gotronic.fr/, note = Consulté le 22/04/2024, 2024.

[23] Bastelgarage. https://www.bastelgarage.ch/. Consulté le 22/04/2024.

[24] Raspberry Pi France. Guide : Qu'est-ce qu'un raspberry pi ? https://www.raspberrypi-france.fr/guide/quest-ce-quun-raspberry-pi/.

[25] Raspberry Pi Foundation. Raspberry pi 4 model b. https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/.

[26] MOKRANE Mohamed Cherif TAIBOUNI Benyoucef. Etude et réalisation d'un mini système aquaponique à base d'un raspberry pi. 2021.

[27] MongoDB Inc. Qu'est-ce que mongodb ? https://www.mongodb.com/fr-fr/company/what-is-mongodb, 2024.

[28] Wikipédia. Flask (framework). https://fr.wikipedia.org/wiki/Flask_(framework), 2024.

[29] Flask documentation. https://flask.palletsprojects.com/en/3.0.x/.

[30] Mozilla Developer Network. What is http ? https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/Overview.